



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607, de 17/10/05, D.O.U. nº 202, de 20/10/2005

ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Diego Dias Tainha

ANÁLISE POSTURAL COMPUTADORIZADA PARA IDENTIFICAÇÃO DE
HIPERLORDOSE UTILIZANDO O KINECT

Palmas - TO

2015

Diego Dias Tainha

ANÁLISE POSTURAL COMPUTADORIZADA PARA IDENTIFICAÇÃO DE
HIPERLORDOSE UTILIZANDO O KINECT

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Ciência da Computação pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.Sc. Fernando Luiz de Oliveira.

Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. M.Sc. Fernando Luiz de Oliveira

Centro Universitário Luterano de Palmas

Prof. M.Sc. Fabiano Fagundes

Centro Universitário Luterano de Palmas

Prof. M.Sc. Pierre Soares Brandão

Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas - TO

2015

RESUMO

A lordose é uma curvatura normal da coluna vertebral que pode ser vista de perfil. O agravamento dessa curvatura é denominado hiperlordose e para a avaliação desse desvio existem, por exemplo, o método de radiografia, citado pela bibliografia como um bom método para a avaliação, e os métodos de simetrógrafo e fotogrametria, porém, ao utilizá-los alguns desvios posturais podem passar despercebidos e até existir significativa variação de valores quando utilizados por diferentes avaliadores. Logo, nesse trabalho foi desenvolvida uma ferramenta para mensurar o grau de curvatura lordótica utilizando o sensor Kinect, facilitando o diagnóstico de hiperlordose. No desenvolvimento do software foi utilizado a ferramenta Visual Studio para a implementação, onde para o desenvolvimento das interfaces foi utilizada a tecnologia Windows Presentation Foundation (WPF) junto à linguagem de programação C#, uma das linguagens que possibilita a interação com o sensor Kinect. O banco de dados foi implementado utilizando o SQL Server 2012 e a comunicação entre a aplicação e o banco foi feita utilizando a tecnologia LINQ to SQL. A análise dos resultados foi feita com o Software de Avaliação Postural (SAPO). Porém, é necessário que a ferramenta seja validada por um profissional capacitado da fisioterapia que tenham grande conhecimento sobre o método utilizado para a comparação dos valores.

Palavras-chave: Lordose. Hiperlordose. Kinect. SAPO.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Visão da coluna vertebral no plano sagital e frontal posterior | 16 |
| Figura 2 - Dobradiça lombo-sacra | 17 |
| Figura 3 - Posicionamento da pelve | 18 |
| Figura 4 - Visão da coluna no centro de gravidade e anteversão pélvica..... | 19 |
| Figura 5 - Mensuração da lordose lombar pelo método de Cobb..... | 20 |
| Figura 6 - Aparelho simetrógrafo | 22 |
| Figura 7 - Avaliação utilizando simetrógrafo e postura padrão na visão lateral proposta por Kendall | 22 |
| Figura 8 – Vista lateral direita dos pontos anatômicos do protocolo SAPO | 36 |
| Figura 9 -Representação plana da cifose | 25 |
| Figura 10 - Triângulo da cifose | 26 |
| Figura 11 - Etapas do processamento de imagem em visão computacional | 27 |
| Figura 12 - Aplicação dos operadores, Roberts, Prewitt e Sobel. | 29 |
| Figura 13 - Componentes do Sensor Microsoft Kinect | 31 |
| Figura 14 - Interação de hardware e software com a aplicação..... | 31 |
| Figura 15 – Ativação do fluxo de imagem | 32 |
| Figura 16 – Ativação do fluxo de imagem | 33 |
| Figura 17 - Campo de visão do sensor Microsoft Kinect na horizontal | 34 |
| Figura 18 - Campo de visão do sensor Microsoft Kinect na vertical | 34 |
| Figura 19 - Reconhecimento e rastreamento de usuários e marcação de pontos | 35 |
| Figura 20 – Estrutura metodológica | 37 |
| Figura 21 – Arquitetura da aplicação | 39 |
| Figura 22 – Diagrama do banco de dados | 41 |
| Figura 23 – Trecho de classe modelo LINQ..... | 42 |
| Figura 24 – Tela Inicial da aplicação..... | 43 |
| Figura 25 – Tela de avaliação de hiperlordose | 44 |
| Figura 26 – Trecho de código para apresentação da imagem do Kinect..... | 44 |
| Figura 27 – Método para inicializar os fluxos do sensor Kinect | 45 |
| Figura 28 – Método para manipular os fluxos do sensor Kinect..... | 46 |

| | |
|---|----|
| Figura 29 – Trecho do método para desenhar ponto do esqueleto | 47 |
| Figura 30 – Trecho de código do evento do botão de avaliação | 47 |
| Figura 31 – Trecho de código do método avaliarLordose para obtenção dos pontos do esqueleto | 48 |
| Figura 32 – Representação dos pontos de avaliação obtidos pelo sensor Kinect..... | 48 |
| Figura 33 – Trecho do método avaliarLordose para cálculo do ângulo | 49 |
| Figura 34 – Método para calcular a distância entre dois pontos | 49 |
| Figura 35 – Triângulo da lordose | 50 |
| Figura 36 – Método para cálculo do cosseno | 51 |
| Figura 37 – Trecho do método avaliarLordose para cálculo das distâncias..... | 51 |
| Figura 38 – Distância AB e AC..... | 52 |
| Figura 39 – Demonstração de ângulos traçados no SAPO..... | 54 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Resultados da avaliação feita com o SAPO..... | 54 |
| Tabela 2 – Resultados da avaliação feita pela ferramenta desenvolvida..... | 55 |
| Tabela 3 – Média dos resultados obtidos pelo software SAPO..... | 56 |

LISTA DE EQUAÇÕES

| | |
|--|----|
| Equação 1 – Distância entre dois pontos por Suaide | 26 |
| Equação 2 - Teorema de Heron | 26 |
| Equação 3 - Distância entre dois pontos..... | 49 |
| Equação 4 - Lei dos cossenos | 50 |
| Equação 5 - Cosseno do ângulo α | 50 |

LISTA DE ABREVIATURAS

| | |
|--------|---|
| WPF | Windows Presentation Foundation |
| RGB | Red, Green e Blue |
| SDK | Software Development Kit |
| NUI | Natural User Interface |
| tg | Tangente |
| cos | Cosseno |
| XAML | Xtensible Application Markup Language |
| CNPq | Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento |
| FAPESP | Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo |
| ATLS | ângulo gerado pela interseção da reta que se estende de L4 a T7 com a reta que se estende de L4 a S1 |
| AHEIL | ângulo formado pela interseção da reta horizontal da espinha ilíaca pósterio-superior com a reta paralela às vertebrae lombares |
| ATLV | ângulo gerado pela interseção da reta que se estende de T7 a L4 com a vertical |
| ALSV | ângulo gerado pela interseção da reta que se estende de S1 a L4 com a vertical |
| DLT | distância da reta vertical de L4 até a reta vertical de T7 |
| DLS | distância da reta vertical de L4 até a reta vertical de S1 |
| ASSH | ângulo gerado pela interseção da reta que se estende do ponto <i>Spine</i> a <i>PontoMedioOmbros</i> com a reta que se estende do ponto <i>Spine</i> a <i>PontoMedioQuadris</i> |
| DSPS | distância da reta vertical de <i>Spine</i> até a reta vertical de <i>PontoMedioOmbros</i> |
| DSPH | distância da reta vertical de <i>Spine</i> até a reta vertical de <i>PontoMedioQuadris</i> |

SUMÁRIO

| | | |
|---------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 13 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO..... | 15 |
| 2.1 | A coluna vertebral | 15 |
| 2.1.1 | Lordose e Hiperlordose | 16 |
| 2.1.2 | Orientação pélvica | 17 |
| 2.2 | Métodos de Avaliação | 19 |
| 2.2.1 | Métodos invasivos | 19 |
| 2.2.2 | Métodos não invasivos | 21 |
| 2.2.2.1 | Simetrografia | 21 |
| 2.2.2.2 | Fotogrametria | 23 |
| 2.2.2.3 | Software SAPO | 35 |
| 2.2.3 | <i>Técnica de Suaide</i> | 25 |
| 2.3 | Visão Computacional | 26 |
| 2.3.1 | <i>Detecção de Bordas</i> | 28 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODOS..... | 30 |
| 3.1 | <i>Local e período de realização</i> | 30 |
| 3.2 | <i>Materiais</i> | 30 |
| 3.2.1 | <i>Microsoft Kinect</i> | 30 |
| 3.2.1.1 | Fluxo de imagem | 32 |
| 3.2.1.2 | Fluxo de profundidade..... | 33 |
| 3.3 | <i>Metodologia</i> | 37 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 39 |
| 4.1 | <i>Arquitetura da aplicação</i> | 39 |
| 4.2 | <i>Base de dados</i> | 40 |

| | | |
|-------|-------------------------------------|----|
| 4.2.1 | Conexão LINQ to SQL..... | 41 |
| 4.3 | <i>Implementação</i> | 43 |
| 4.4 | <i>Análise dos Resultados</i> | 52 |
| 4.4.1 | Procedimentos | 52 |
| 4.4.2 | Avaliação dos Resultados..... | 53 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 57 |
| 6 | REFERÊNCIAS | 59 |

1 INTRODUÇÃO

A lordose lombar é uma curvatura fisiológica da coluna vertebral que pode ser vista através do plano sagital (KENDALL, 1995). O aumento dessa curvatura é denominado hiperlordose lombar, e se não diagnosticada e tratada precocemente pode trazer riscos à saúde do indivíduo (KAPANDJI, 2000; NERY, 2009; PEQUINI, 2000).

Existem vários métodos de diagnósticos da hiperlordose, sendo que os mais confiáveis, conforme Ferreira (1999), são os métodos de diagnóstico por imagem, sendo a radiografia considerada o padrão-ouro, a técnica mais confiável utilizada no momento. Porém, estes métodos não podem ser aplicados em curto espaço de tempo por expõem o paciente à radiação. Existem ainda os métodos não invasivos, estes não prejudicam a saúde do indivíduo, no entanto seu diagnóstico pode ser diferente de profissional para profissional.

Para evitar a utilização da radiografia na avaliação postural existem os métodos não invasivos de avaliação, como o simetrógrafo que realiza uma avaliação qualitativa, e as técnicas de fotogrametria, que utilizando fotografias do paciente para traçar retas e obter ângulos para realizar a avaliação de maneira quantitativa. Conforme Souza (2011) as técnicas de fotogrametria são bastante utilizadas para avaliações posturais, porém não existe padronização sobre os ângulos utilizados para analisar determinadas alterações posturais.

Como na utilização da fotogrametria para avaliação postural, outras tecnologias, tais como a do sensor Kinect estão sendo cada vez mais aplicadas na fisioterapia para solucionar os problemas existentes e proporcionar melhorias aos métodos de avaliações existentes.

Nos últimos anos o sensor Kinect tem sido bastante utilizado nesse contexto, Diego-Mas e Alcaide-Marzal (2014) elaboraram um trabalho onde é realizada a avaliação de cargas posturais, onde o sensor é o responsável pela avaliação, além deste trabalho, Galna et al. (2014) também utilizaram o Kinect em seu projeto, elaborado para medir o movimento de pacientes com a doença de Parkinson.

O sensor Kinect é uma tecnologia que oferece excelentes recursos da visão computacional, além de que não fornece riscos à saúde do paciente, oferece um recurso padrão com pouca interferência do avaliador. Levando em consideração este fato, no presente trabalho foi desenvolvida uma aplicação que utiliza o sensor Microsoft Kinect e suas funções que possibilitam obter pontos do esqueleto humano, onde com esses pontos é possível traçar retas e ângulos que calculam o grau de curvatura da coluna lombar, resultando assim no

diagnóstico de hiperlordose. Por meio da ferramenta, poderá ser feito o acompanhamento dos pacientes com frequentes reavaliações do seu quadro clínico, o que é de extrema importância no tratamento do desvio postural.

O presente trabalho está estruturado em seções que apresentam as sequências percorridas para que o objetivo fosse alcançado. A seção 2 apresenta o referencial teórico, a seção 3 os materiais utilizados na implementação da aplicação e a metodologia utilizada, logo após, a seção 4 apresenta os resultados obtidos na implementação e comparação da ferramenta. Na seção 5 são apresentadas as considerações finais alcançadas ao término do trabalho e implementação, bem como dos testes e comparação da ferramenta. E por fim a seção 6, que apresenta as referências bibliográficas utilizadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão apresentados os conceitos relevantes e necessários para compreensão e desenvolvimento do trabalho. A princípio serão abordados os conceitos acerca da curvatura fisiológica denominada lordose e sua patologia, a hiperlordose, bem como os métodos de avaliação desse desvio postural, sugeridos na literatura. A próxima abordagem será referente à visão computacional, onde será relacionado o sensor Microsoft Kinect à detecção desse desvio.

2.1 A coluna vertebral

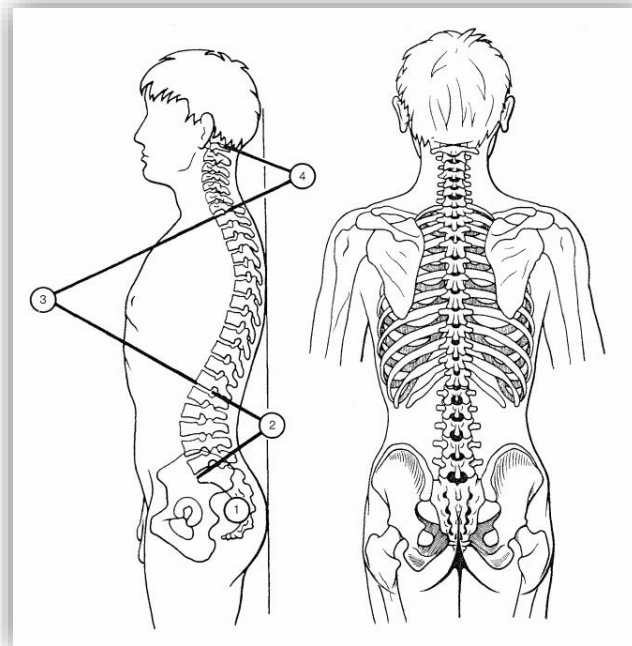
A coluna é o segmento corporal que exerce ligação entre os membros superiores, inferiores e cabeça, permitindo a movimentação do corpo nos três planos. Ela é composta por vários ossos, articulações, ligamentos e músculos, que estão envolvidos no movimento espinal. A lesão na coluna cervical tem implicações com possível risco de vida; além disso, a dor na coluna lombar é uma das indisposições mais comuns conhecidas pelo homem (BARBOSA, A., 2009).

Funcionalmente, as curvas permitem que a coluna aumente sua flexibilidade e a capacidade de absorver impactos, enquanto mantém a tensão e estabilidade adequada das articulações intervertebrais (KNOPLICH, 2003). Pequini (2000) afirma que a coluna é uma peça delicada e, portanto, está sujeita a diversas deformações, que podem ser congênicas ou adquiridas durante a vida.

Knoplich (2004) cita que a coluna vertebral possui, geralmente, no total, trinta e três vértebras, porém cinco delas (S1 a S5) formam o sacro e quatro a cinco formam o cóccix. A região cervical possui o total de sete vértebras (C1 a C7), a região torácica possui doze vértebras (T1 a T12), as vértebras lombares são no total cinco (L1 a L5), sendo estas últimas as de maior tamanho. O autor menciona também que as vértebras possuem características particulares conforme a região.

Segundo Kapandji (2000), se considerada em conjunto, a coluna vertical é retilínea vista no plano frontal/coronal tanto em uma visão anteroposterior ou pósterio-anterior. No plano sagital a coluna apresenta quatro curvaturas, sendo observadas no sentido de cranial para caudal: a lordose cervical, a cifose dorsal, a lordose lombar e a curvatura sacral, tal como mostra a Figura 1.

Figura 1 - Visão da coluna vertebral no plano sagital e frontal posterior



Fonte: Kapandji (2000, p.17)

A região lombar da coluna vertical é composta por vértebras orientadas por uma curvatura lordótica. As vértebras dessa região são caracterizadas por serem relativamente mais largas que as das outras regiões da coluna vertebral. Esse aumento de tamanho possibilita que as vértebras lombares suportem o peso da parte superior do tronco e para compensar a falta de apoio prestado pela região torácica (KIM et al., 2013).

Devido à localização estratégica da coluna lombar, esta deve ser incluída em qualquer exame de postura da coluna vertebral, ou exames de quadris e articulações sacro-ilíacas, com exceção da existência de uma história de trauma na coluna (MAGEE, 2014);

2.1.1 Lordose e Hiperlordose

Kendall et al. (1995) define lordose como uma curva anterior anormal, que pode ser observada na região lombar, acompanhada por uma inclinação pélvica anterior e por flexão da junta do quadril.

“Lordose é curva que se observa no perfil de uma coluna vertebral, na convexidade da região cervical e lombar. Mas o uso fez com que se associe a ideia da lordose ao aumento da curva na região lombar” (KNOPLICH, 2003, p. 474). No entanto, neste estudo será abordada somente a curvatura da região lombar.

Segundo Knoplich (2003), o histórico de alterações da coluna lombar vem desde a época do Homo Sapiens, quando o homem deixou de ser quadrúpede e passou a apoiar-se em duas pernas, os membros passaram a ficar mais compridos e a curva lordótica da coluna sofreu alterações para adaptar-se à nova postura.

Bienfait (1995) diz que uma das causas da lordose lombar pode ser devida a uma anomalia no movimento na dobradiça de ligação entre a última vértebra lombar (L5) e primeira vértebra sacral (S1), a dobradiça lombo-sacra (Figura 2). Afirma ainda que uma lordose é compensada por outra lordose e não por uma cifose. Porém vários autores como Kim et al. (2013) citam que uma cifose torácica exagerada pode provocar um aumento compensatório na lordose lombar para que a coluna vertebral mantenha o mesmo centro de gravidade.

Figura 2 - Dobradiça lombo-sacra

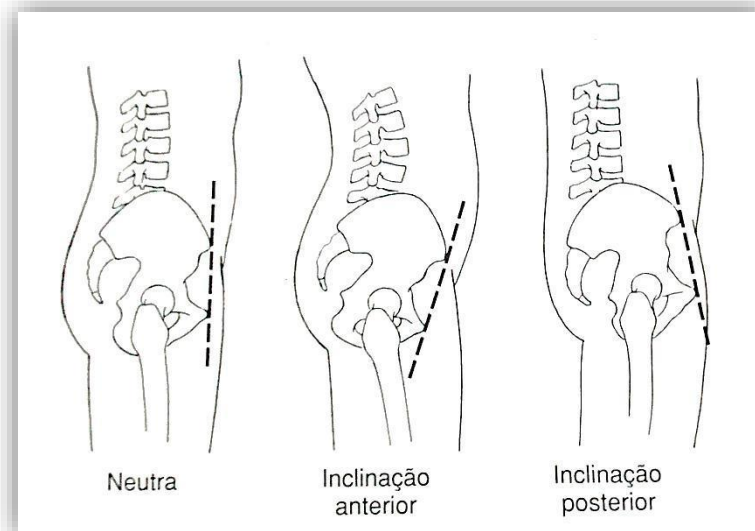


Fonte: Bienfait (1995)

2.1.2 *Orientação pélvica*

Para Kendall et al. (1995) a pelve está na posição neutra quando as espinhas anterossuperiores estão no mesmo plano transversal, e as espinhas anterossuperiores e a sínfise púbica estão no mesmo plano vertical. Diz ainda que a inclinação pélvica anterior é uma posição da pelve onde o plano vertical através das espinhas anterossuperiores é anterior a um plano vertical através da sínfise púbica. E que a inclinação pélvica posterior é uma posição da pelve onde o plano vertical das espinhas anterossuperiores é posterior ao plano vertical da sínfise púbica, como ilustra a Figura 3.

Figura 3 - Posicionamento da pelve



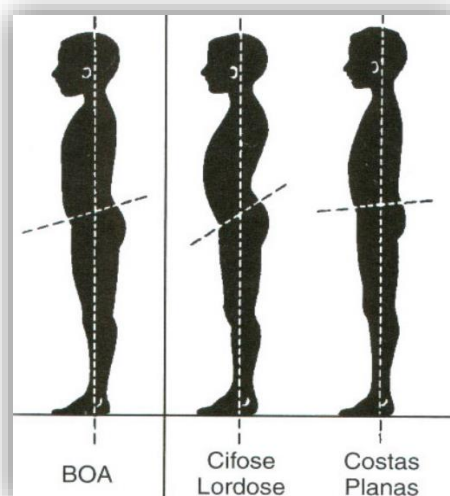
Fonte: Kendall et al. (1995, p.20)

Kendall et al. (1995) ressalta que não é prático descrever a posição neutra da pelve com base em um ponto anterior e um posterior específico estando no mesmo plano horizontal, pois existem variações estruturais na pelve. Porém, cita que as espinhas anteriores superiores e posteriores superiores estão aproximadamente no mesmo plano.

Pezzan (2009) diz que a postura da coluna lombar está diretamente relacionada com a postura da pelve. Essa postura pode estar em diferentes estados que segundo Kim et al. (2013) são a inclinação e incidência pélvica e também a inclinação do sacro, onde contribuem como o grau de lordose lombar.

Bienfait (1995) cita que não há lordose lombar sem anteversão pélvica e que não há anteversão pélvica sem postura lordótica. E essas duas deformidades fazem com que, anteriorizado o centro de gravidade, o tronco fique em desequilíbrio para frente. O oposto da anteversão pélvica, a retroversão, segundo Kapandji (2000), provoca a retificação, diminuindo a curvatura da coluna e a deixando mais plana, porém, ainda persiste certo ângulo na coluna lombar, como é apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Visão da coluna no centro de gravidade e anteversão pélvica



Fonte: Adaptada de Fisioterapia Quintana (2010, online)

Been e Kalichman (2014) citam que a incidência pélvica não varia com a idade e outras alterações posturais, então está altamente correlacionada com a lordose lombar e pode ser uma ferramenta importante para a reconstrução lordótica.

Boulay et al. (2006) com seus estudos, mostra que o valor de incidência pélvica abaixo de 44° diminui a inclinação do sacro e implica ao achatamento da lordose causando assim a retroversão pélvica. E um valor acima de 62° de curvatura aumenta a inclinação do sacro, dessa forma a lordose é mais nítida, levando à anteversão pélvica.

2.2 Métodos de Avaliação

Nessa seção será abordado o conceito de avaliação postural e posteriormente serão mostrados alguns métodos de avaliação postural utilizados, onde entre eles, estão presentes métodos invasivos e não invasivos.

2.2.1 Métodos invasivos

Os métodos invasivos citados na bibliografia são os que utilizam o procedimento de radiografia, tendo um custo elevado e que, segundo Suaide (2008), de alguma forma são prejudiciais ao corpo humano. Neste projeto será citado o método mais comum utilizado pelos fisioterapeutas, o método de Cobb.

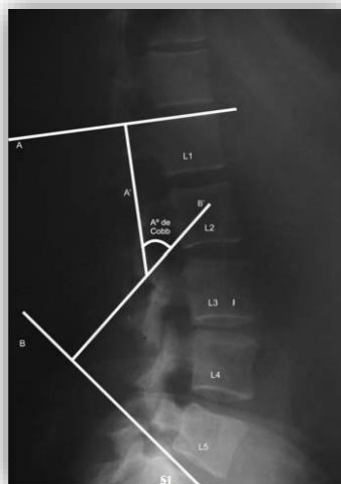
Conforme Been e Kalichman (2014) uma das questões fundamentais sobre avaliação da lordose é o número de vértebras a ser mensurados. A prática mais comum utilizada pela

bibliografia é a avaliação da lordose lombar pelo ângulo formado por todas as cinco vértebras lombares (L1 a L5).

Muitos métodos radiológicos foram utilizados para medir o ângulo de lordose em radiografias bidimensionais. Dentre eles o método de Cobb se tornou o padrão ouro para medir lordose lombar utilizando as linhas vertebrais em radiografias sagitais (BEEN e KALICHMAN, 2014).

O método de Cobb é mensurado pelo ângulo formado por linhas que passam no platô superior e inferior das vértebras, sendo essas vértebras as da curvatura que se deseja mensurar. Quando se utiliza o método de Cobb para mensurar o grau de lordose lombar, são traçadas retas no platô superior da primeira vértebra lombar (L1) e no platô superior da primeira vértebra sacral (S1) onde se encontra com a última vértebra lombar (L5) (BEEN e KALICHMAN, 2014), veja a Figura 5.

Figura 5 - Mensuração da lordose lombar pelo método de Cobb



Fonte: Adaptada de Araujo et al., 2010

Entretanto, muitos pesquisadores realizam a mensuração da lordose de forma diferente, alguns iniciam pela décima vértebra torácica (T10), outros terminam a mensuração na terceira vértebra lombar (L3) e outros até não incluem nas medidas a última vértebra lombar (L5) ou o encontro com o sacro (L5 e S1). Essas diferentes formas de mensuração levam a diferenças significativas nos resultados e, portanto, é fundamental para a mensuração da lordose que seja utilizado o mesmo número de vértebras, onde é sugerido que se utilize as vértebras de L1 a L5 (BEEN e KALICHMAN, 2014).

Segundo Been e Kalichman (2014) o intervalo da lordose é extremamente grande, varia de 30° a 80° de curvatura, utilizando o método de Cobb. Por esse motivo é difícil determinar para o indivíduo, o grau normal da lordose lombar. Diz ainda que a base de conhecimento atual é insuficiente para a reconstrução exata da curvatura lordótica.

Autores como Bradford et al. (1994) encontraram ângulos normais para lordose lombar no intervalo de 33° a 79° utilizando as vértebras L1 e S1. Em seus estudos Milani (2008), com o número de 50 voluntários e utilizando o platô inferior da vértebra T12 e platô superior da vértebra S1, encontrou o valor mínimo de 37° e máximo de 89° para variações de lordose lombar. Desses valores foram enquadrados no grupo de lordose lombar aqueles que atingiram o grau de $65,45^\circ \pm 10,99^\circ$ (68% dos voluntários), no grupo de hipolordose os que obtiveram ângulos a partir de $54,47^\circ$ (18%) e no grupo de hiperlordose os que obtiveram ângulos a partir de $76,47^\circ$ (14%).

2.2.2 Métodos não invasivos

A literatura apresenta vários métodos não invasivos para a identificação de desvios posturais, tais como o Inclínômetro de Myrin, o Cifômetro de Debrunne, o Pantógrafo e a técnica de Moiré. Nesta seção serão apresentados os métodos relevantes para o desenvolvimento do projeto.

2.2.2.1 Simetrografia

O simetrógrafo (Figura 6) é um aparelho utilizado para realizar avaliação das curvaturas da coluna vertebral, porém com avaliações qualitativas. A análise é feita observando as linhas do simetrógrafo em relação as curvaturas da coluna do paciente. É um método bastante utilizado, pois com ele é possível realizar avaliações rotineiras. Alguns autores, como Souza Junior et al. (2011) e Melo et al. (2012), utilizaram o simetrógrafo para análise de curvaturas da coluna.

Figura 6 - Aparelho simetrógrafo

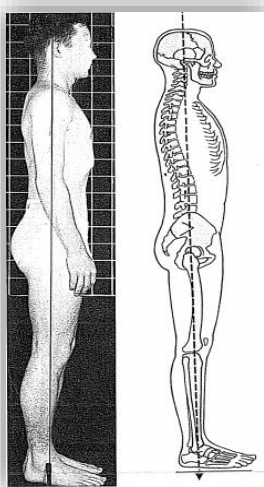


Fonte: Avaliação Física (2004, online)

Na pesquisa de Souza Junior et al. (2011) foi utilizado o simetrógrafo e uma máquina fotográfica. Neste caso, o paciente fica de perfil e o simetrógrafo fica posterior ao seu corpo, então são tiradas duas fotos e analisadas as curvaturas.

Neto Júnior, Pastre e Monteiro (2004), fizeram avaliação das alterações posturais em atletas brasileiros do sexo masculino. Para tal avaliação utilizaram o simetrógrafo e o fio de prumo, seguindo a proposta de Kendall et al. (1995) para exame físico. A Figura 7 mostra uma visão da avaliação utilizando o simetrógrafo e o fio de prumo.

Figura 7 - Avaliação utilizando simetrógrafo e postura padrão na visão lateral proposta por Kendall



Fonte: Kendall et al. (1995)

Miranda, Schor e Girão (2009), também realizaram estudos sobre avaliação postural, em seu projeto os autores realizaram a marcação de pontos no paciente, e utilizaram fotografias para analisar as curvaturas. Os ângulos e distâncias foram calculados com as linhas traçadas utilizando a ferramenta Corel Draw, com o auxílio das referências ósseas marcadas e referências das linhas do simetrógrafo.

Segundo Bienfait (1995), na análise postural, deve-se observar o corpo do indivíduo como um todo, pois os desequilíbrios de postura jamais se apresentam de forma isolada. Para todas as posições analisadas, deve-se considerar a linha vertical da gravidade como referência principal nas observações.

Verderi (2001) cita que no plano sagital deve-se considerar o corpo como duas metades (anterior e posterior) em relação à linha vertical de referência (Figura 7). A linha deve passar anterior ao ouvido externo, face anterior à coluna cervical, anterior à coluna dorsal, cruzar a coluna vertebral em L1, L2 e L3, cruzar a porção média do osso sacro, passar posteriormente à articulação coxofemoral, estender-se posteriormente ao longo do eixo femoral, cruzar o nível médio da articulação do joelho, cruzar a tíbia em quase toda a extensão e passar anteriormente à articulação do tornozelo.

Deve-se observar se existe acentuação das curvaturas fisiológicas da coluna, se os joelhos se encontram em hiperextensão ou em semiflexão, se há projeção dos ombros e cabeça para frente, se ocorre anteversão ou retroversão da pelve e se o corpo apresenta alguma rotação para direita ou esquerda (VERDERI, 2001).

2.2.2.2 Fotogrametria

“De acordo com a *American Society of Photogrammetry and Remote Sensing*, a fotogrametria é a arte, ciência e tecnologia da obtenção de informação confiável sobre objetos físicos e o meio ambiente por meio de processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética radiante e outras fontes.” (SACCO et al. 2007).

A fotogrametria é um processo que permite o estudo e a definição com precisão das formas, das dimensões e da posição de um objeto no espaço tridimensional a partir de imagens bidimensionais, adivinhas de gravação de padrões de ondas eletromagnéticas, sem contato físico direto com o objeto (ALVES et al.). Segundo Alves et al. A fotogrametria pode

ser um meio mais confiável e mais exato de se medir o corpo e os membros, do que os métodos tradicionais utilizados.

Ribeiro et al (2006), definiram que a fotogrametria como uma técnica relativamente simples, fácil e objetiva. Seu baixo custo, facilidade de fotointerpretação, alta precisão e reprodutibilidade dos resultados, além da possibilidade de arquivamento e acesso aos registros, são vantagens que justificam sua ampla utilização.

Conforme Nery (2009), geralmente nos softwares de mensuração de desvios posturais, a fotografia é lançada no programa, e por meio de ferramentas do próprio programa é possível mensurar ângulos e distâncias, facilitando a análise dos desvios posturais que podem passar despercebidos em uma avaliação postural feita com a observação do examinador.

Nos estudos de Araujo et al. (2010), foi averiguado o posicionamento da pelve e da lordose lombar por meio de análise fotogramétrica e radiografia, onde os ângulos de inclinação sacral e lombo-sacro foram medidos pelo método de Cobb. Os autores citam que o método de fotogrametria é confiável, pois não foi encontrada diferença significativa na simetria da pelve ou na lordose lombar, em comparação ao método de Cobb.

Iunes et al. (2005), cita que a fotogrametria é um recurso acessível à maioria dos fisioterapeutas que já utilizam a fotografia e possuem equipamentos básicos como, câmera digital e computador, permitindo realizar a avaliação postural e quantificar as alterações encontradas.

Porém a aplicação da técnica não é tão simples como aparenta, ela requer vários cuidados metodológicos para padronizar as fotos e evitar alterações na imagem, como a distorção (VEGTER e HAGE, 2000). E apesar dos crescentes estudos onde a fotogrametria é utilizada, ainda não existe padronização sobre os ângulos utilizados para verificar determinadas alterações posturais (SOUZA, 2011).

Entre os cuidados metodológicos estão: o treinamento do fotógrafo, trabalhar com apenas um fotógrafo ou número limitado, utilizar a mesma câmera e posicioná-la sempre na mesma distância do paciente utilizando tripé e marcas no chão para posicionar o voluntário (WATSON, 1998). Além do ambiente ser livre de interferência, confortável, estar adequadamente iluminado e ser privado, já que é necessário o uso de traje de banho para a exposição maior do corpo (WATSON e MACDONNCHA, 2000).

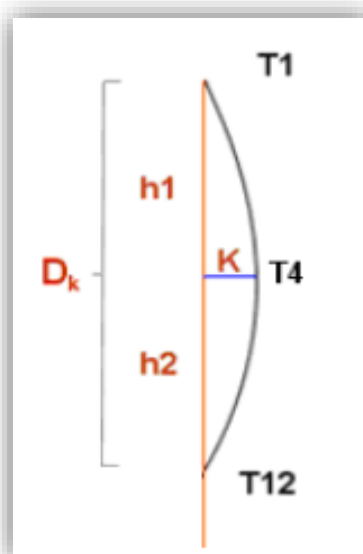
Dentre os métodos de fotogrametria existentes, foi utilizado no trabalho para a comparação dos desvios posturais o Software de Avaliação Postural (SAPO), descrito na seção 3.2.2.

2.2.3 Técnica de Suaide

Suaide (2008) desenvolveu uma aplicação que permite mensurar o ângulo de curvaturas da coluna vertebral por meio de fotogrametria. São tiradas fotos do paciente e para que a aplicação possa mensurar as curvaturas é necessário que o usuário informe os pontos manualmente no software, clicando sobre a curvatura presente na foto do paciente.

Segundo Suaide (2008) o usuário então deverá escolher três pontos que formam o ângulo da curvatura que deseja analisar, onde os dois primeiros pontos representam as vértebras mais distantes da análise e o terceiro como o ponto do meio. Em seu caso de estudo é feita a mensuração do ângulo da cifose torácica, onde o autor utiliza os pontos um, dois e três, respectivamente como representações das vértebras T1, T12 e T4, para que seja possível usar o método de Cobb, conforme mostra a Figura 8.

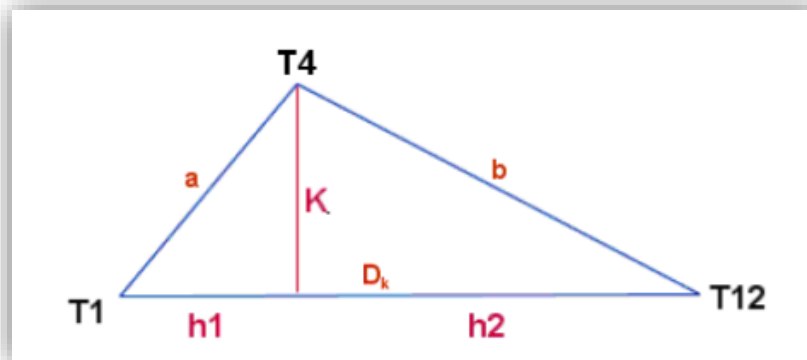
Figura 8 -Representação plana da cifose



Fonte: Suaide (2008)

Conforme Suaide (2008), para a análise dos dados primeiramente é encontrada a distância D_k entre T1 e T12 e traça-se uma reta imaginária unindo os dois pontos, como mostra a Figura 9. Também é traçada uma reta de T4 até a linha D_k , o autor cita que dessa forma é obtido um triângulo feito com os parâmetros da cifose, conforme mostra a Figura 9.

Figura 9 - Triângulo da cifose



Fonte: Suaide (2008)

Segundo Suaide (2008) com as coordenadas x, y e z, disponibilizadas pelo software, para chegar aos valores de a, b e D_k , é utilizada a equação da distância entre dois pontos (Equação 1).

Equação 1 – Distância entre dois pontos por Suaide

$$D = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

Fonte: Suaide (2008)

Sabendo a distância de cada lado do triângulo é possível calcular seu perímetro com a soma dos três lados e pelo teorema de Heron (Equação 2) encontramos a área desse triângulo com auxílio dos segmentos a, b e D_k (SUAIDE, 2008).

Equação 2 - Teorema de Heron

$$A = \sqrt{P(P - a)(P - b)(P - D_k)}$$

Fonte: Suaide (2008)

2.3 Visão Computacional

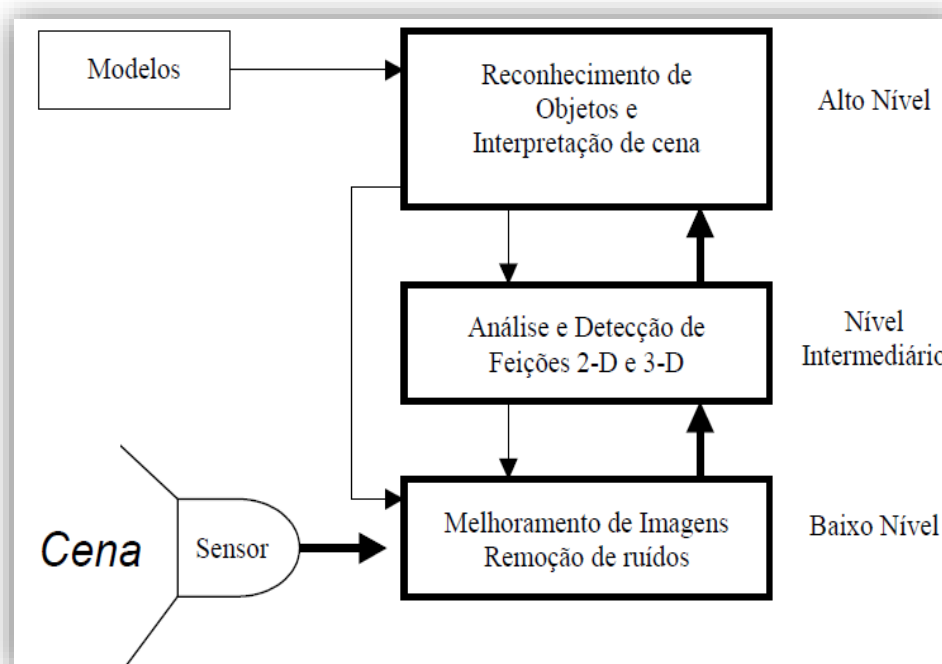
A visão computacional permite que os seres humanos tenham melhores percepções do mundo em sua volta. Com base nesse contexto, ela é a ciência que busca reproduzir as sensações e estímulos percebidos pelos órgãos de visão humana em um ambiente computacional. Para isso, um sistema de visão computacional utiliza equipamentos de hardware, como câmeras, lasers, sensores, entre outros, para obtenção das imagens que serão processadas pelo software (BARROS, PINHEIRO e FERLIN, 2013).

Um computador equipado com um detector de imagens ou câmera pode ser considerado um esquema de visão computacional simples, ou mais que isso. Pode ser comparado com sistemas de visão biológica humana (JAHNE, HAUBECKER e GEIBLER, 1999). A visão computacional utiliza técnicas de processamento de imagens para realizar transformações de uma imagem estática ou vídeo, gerando nova representação das mesmas (FONSECA, 2013).

Segundo Milano e Honorato (2010), os softwares que utilizam visão computacional são geralmente provindos de outras áreas de pesquisas, para solucionar problemas particulares. Esses sistemas são denominados sistemas especialistas, pois necessitam de um conhecimento específico para solução de um determinado problema.

Molz (2001) cita que o processo de visão é implementado como um encadeamento de diferentes tarefas no sistema, que são etapas básicas necessárias para a obtenção de um bom resultado em reconhecimento de objetos na imagem, como mostra a Figura 10.

Figura 10 - Etapas do processamento de imagem em visão computacional



Fonte: Molz (2001)

Como definido por Molz (2001) e mostrado na Figura 10, a visão computacional possui vários estágios e manipulam diferentes tipos de dados de diferentes tamanhos. Ela é

dividida em três etapas de processamento, o processamento de Baixo Nível, de Nível Intermediário e de Alto Nível, onde:

- No processamento de Baixo Nível são utilizadas funções com o propósito de melhorar a qualidade da imagem e realizar extração de suas características. Tal procedimento pode ser feito com técnicas de remoção de ruídos, melhoramento de contraste e realce de borda. Após aplicados esses procedimentos é possível ter uma imagem segmentada, onde são adquiridas suas partes significativas, as quais correspondem aos objetos existentes na cena.
- No processamento de Nível Intermediário são realizados procedimentos de análise com base nas características extraídas no processamento de baixo nível, com o intuito de produzir dados simbólicos, como bordas, linhas e formação de retângulos, para o processamento de alto nível.
- No processamento de Alto Nível é realizada a interpretação final da cena, que tem por objetivo o reconhecimento dos objetos e a análise das estruturas relacionais. Nesta etapa também é responsável pelo controle das interfaces entre o sistema e seu ambiente.

2.3.1 Detecção de Bordas

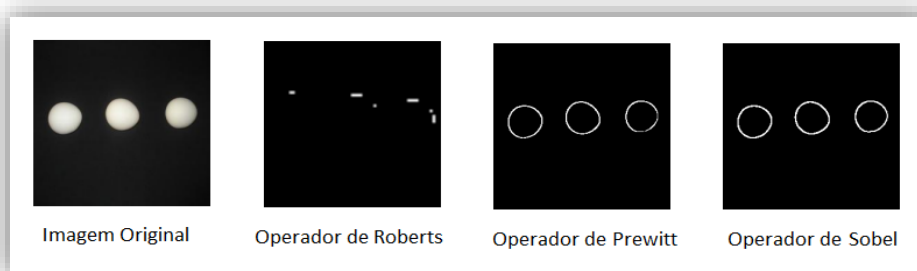
Conforme Carvalho (1998), bordas são características de uma imagem que são amplamente utilizadas em sistemas de classificação e análise de imagens. Uma borda é definida como sendo uma mudança ou descontinuidade local na luminosidade de uma imagem. Maturana (2010) cita que para a detecção e realce de bordas, é aplicado o filtro por derivada utilizando-se máscaras de convolução. Algumas dessas máscaras são os operadores de Roberts, Prewitt e Sobel.

Carvalho (1998) cita que o operador de Roberts é o dos métodos mais simples que existem. Maturana (2010) diz que o operador é o menos indicado, pois contém muito ruído, suas máscaras têm dimensões de apenas 2x2 e por isso não destaca muito a visualização da borda, como mostra a Figura 11.

O operador Prewitt, segundo Maturana (2010), se diferencia do Roberts por percorrer as regiões vertical e horizontal da imagem. E por ser uma máscara com dimensão 3x3, existe uma melhora significativa na detecção das bordas em relação à máscara de Roberts. A Figura 11 mostra a aplicação do operador de Prewitt.

Por fim, conforme Maturana (2010), o operador de Sobel trabalha de modo similar ao de Prewitt, no entanto com mais processamento nos pontos próximos ao pixel central. Dessa forma, a máscara de Sobel obtém bordas mais destacadas em relação aos outros operadores descritos. Na Figura 11 é possível ver o resultado do operador de Sobel.

Figura 11 - Aplicação dos operadores, Roberts, Prewitt e Sobel.



Fonte: Adaptado de Maturana (2010)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nessa seção são apresentados os materiais utilizados e a metodologia adotada para a elaboração deste trabalho e desenvolvimento da aplicação.

3.1 Local e período de realização

A pesquisa e o desenvolvimento da ferramenta foram realizados no Laboratório Banco de Dados e Engenharia de Software (LBDES) em conjunto com o Laboratório de Tecnologia em Saúde (LTS), ambos do Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA), vinculados ao grupo de Pesquisa Tecnologia, Saúde e Qualidade de Vida, no período de agosto de 2014 até julho de 2015. Este trabalho está vinculado ao grupo de pesquisa: Tecnologia, Saúde e Qualidade de Vida, que tem o objetivo de realizar pesquisas com a inclusão do Sensor Microsoft Kinect para o auxílio de procedimentos fisioterapêuticos.

3.2 Materiais

Para o desenvolvimento da ferramenta foi utilizado um computador com o processador Intel core i5 2.50 GHz de 64 bits, barramento USB 3.0 e 2.0, 8GB de RAM e placa de vídeo integrada compatível com o DirectX 11, e um sensor Kinect Xbox 360 com adaptador para computador.

Para implementação das interfaces e códigos foi utilizando o sensor Microsoft Kinect, o software Visual Studio 2012, sendo utilizado para persistir os dados o SGBD SQL Server 2012. Por fim, para fazer a comunicação entre o software e a base de dados foi utilizado a tecnologia LINQ to SQL.

E para a avaliação pelo software SAPO foi utilizada a câmera fotográfica Canon EOS Rebel XSI 12.20 megapixels.

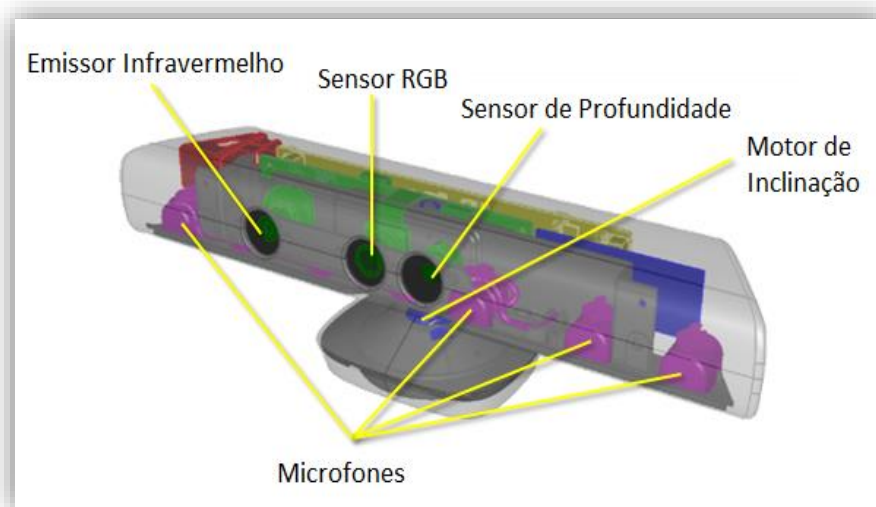
Por ser uma parte importante para a realização do trabalho, na seção seguinte será apresentado alguns detalhes do sensor Microsoft Kinect.

3.2.1 Microsoft Kinect

O sensor Kinect foi lançado em 2010 sendo desenvolvido pela Microsoft em parceria com a Primesense e revolucionou a capacidade de interação entre o usuário e vários dispositivos (CAMPOS, 2013). Essa revolução ocorreu principalmente na área de jogos, uma vez que não é mais necessário a utilização controles, pois o sensor capta movimentos e comando de voz do usuário utilizando o conceito de linguagem natural (NUI) para a interação com os jogos (CARDOSO, 2013).

O sensor é composto por um emissor infravermelho, uma câmera RGB capaz de capturar imagens e vídeos com resolução de até 1280x960, sensor de profundidade, quatro microfones e um motor para controle do ângulo, como mostra a Figura 12. Oferece suporte para o desenvolvimento de aplicações em C++, C# ou Visual Basic, utilizando a plataforma Microsoft Visual Studio 2010 até a mais recente. Além disso, ainda permite o acesso direto às informações obtidas pelos sensores (CAMPOS, 2013).

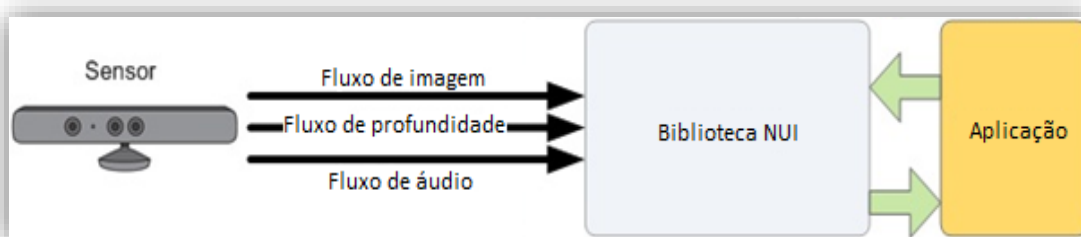
Figura 12 - Componentes do Sensor Microsoft Kinect



Fonte: Microsoft (2014)

O SDK Kinect foi lançado em 2012 e fornece uma sofisticada biblioteca e ferramentas de software para ajudar os desenvolvedores a usar a rica forma de visão natural do Kinect, que detecta e reage aos eventos do mundo real (MICROSOFT, 2014). Na Figura 13 é ilustrado como é realizada essa interação entre o Kinect e uma aplicação.

Figura 13 - Interação de hardware e software com a aplicação



Fonte: Microsoft (2014)

Segundo Jungong et al. (2013), o Kinect possui uma natureza complementar da profundidade e de cores RGB, que são potenciais soluções para os problemas clássicos em

visão computacional. Com isso o sensor é uma ferramenta que melhora as resoluções de problemas de visão computacional, como rastreamento de objetos, análise de atividade humana, análise de gestos e mapeamento.

Os fluxos, imagem, profundidade e áudio, apresentados na Figura 13, são fornecidos em array de dados e podem ser manipulados utilizando o SDK Kinect como intermédio entre a aplicação e o sensor. Neste trabalho foram utilizados o fluxo de imagem e o fluxo de profundidade, que serão abordados na seção seguinte.

3.2.1.1 Fluxo de imagem

Para utilização do fluxo de imagem (*ColorStream*) é necessário manipular propriedade *KinectSensor.ColorStream*. Essa propriedade possui os métodos necessários para manipulação da imagem de cores, como, ativação, formatos e quantidade de quadros por segundo que o sensor pode capturar.

Segundo a Microsoft (2014) os dados de imagem recebidos pela câmera de cores do Kinect estão disponíveis em diversos formatos e resoluções, e esses formatos determinam se o fluxo de dados da cor da imagem é codificada como RGB, YUV ou Bayer. Os formatos podem ser acessados pela propriedade *ColorStream*, são eles:

- *RgbResolution640x480Fps30 (resolução padrão)*
- *RgbResolution1280x960Fps12*
- *YuvResolution640x480Fps15*
- *RawYuvResolution640x480Fps15*
- *RawBayerResolution640x480Fps30*
- *RawBayerResolution1280x960Fps12*

Para manipular os dados de cores devemos ativar o fluxo *ColorStream* com o método *Enable*, como mostra o trecho de código apresentado pela Figura 14 a seguir.

Figura 14 – Ativação do fluxo de imagem

```
kinect = kinectSensor;  
kinect.ColorStream.Enable();  
kinect.Start();
```

3.2.1.2 Fluxo de profundidade

O fluxo de profundidade é representado pela propriedade `KinectSensor.DepthImageStream`. A partir dessa propriedade é possível acessar os quadros do fluxo de profundidade, onde cada quadro é constituído por pixels que contêm a distância (em milímetros) da câmera até o objeto (Microsoft, 2014). Os quadros de imagem em profundidade estão disponíveis em três resoluções diferentes, são elas:

- *Resolution320x240Fps30 (resolução padrão)*
- *Resolution640x480Fps30*
- *Resolution80x60Fps30*

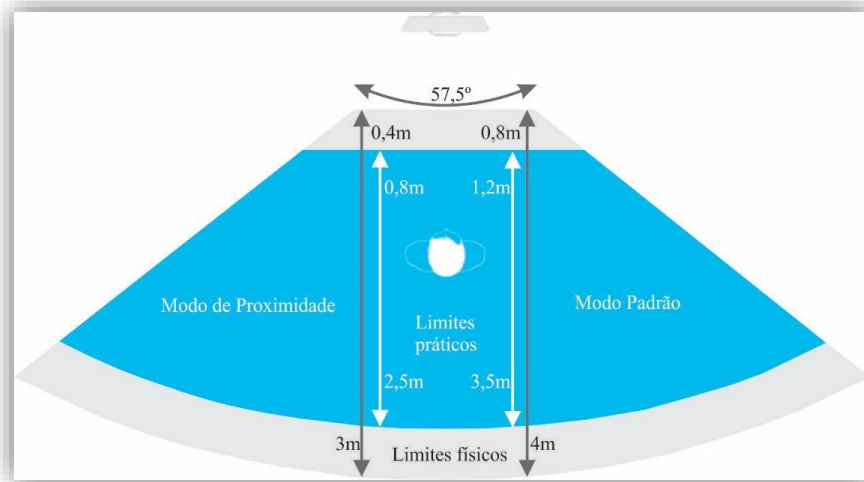
Para manipular os dados de profundidade devemos ativar o fluxo *DepthImageStream* com o método *Enable*, como mostra o trecho de código apresentado pela Figura 15 a seguir.

Figura 15 – Ativação do fluxo de imagem

```
kinect = kinectSensor;  
kinect.DepthStream.Enable();  
kinect.Start();
```

Tanto o modo de profundidade quanto a detecção de esqueleto possuem dois modos de funcionamento. O modo padrão, que permite obter valores de profundidade entre 0,8m e 4m, onde os melhores resultados se encontram na distância de 1,2m e 3,5m. E o modo de proximidade, que possui qualidade superior, nesse modo a distância de detecção é de 0,4m até 3m, e os melhores resultados são obtidos entre 0,8m e 2,5m (MICROSOFT, 2014). A Figura 16, a seguir, ilustra os dois modos.

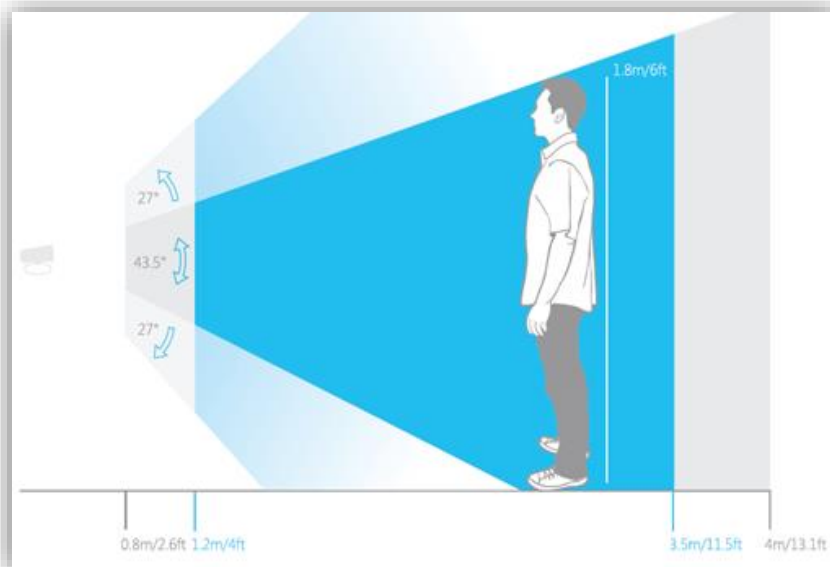
Figura 16 - Campo de visão do sensor Microsoft Kinect na horizontal



Fonte: Adaptada de Microsoft (2014)

Segundo Campos (2013), outra característica importante do sensor é o seu ângulo de visão. Na horizontal o sensor tem um alcance de $57,5^\circ$ (Figura 16). Na vertical o alcance é de $43,5^\circ$, com possibilidade de variação de 27° para cima ou para baixo em relação à posição zero, conforme mostra a Figura 17. O ângulo de inclinação pode ser controlado através do acesso ao motor interno existente no sensor.

Figura 17 - Campo de visão do sensor Microsoft Kinect na vertical

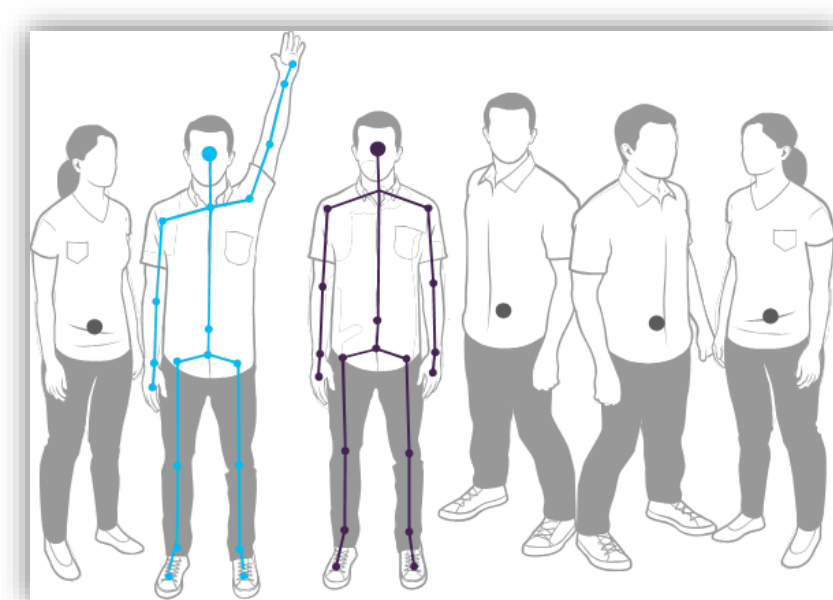


Fonte: Microsoft (2014)

Atualmente o Kinect permite o reconhecimento de até seis utilizadores simultâneos, onde, destes seis, até dois podem ser rastreados em detalhes, como mostra a Figura 18. Este rastreamento pode ser feito nos usuários quando se encontrarem em pé ou sentados, em uma visão frontal, porém posições laterais não são visíveis para o sensor (MICROSOFT, 2014).

Campos (2013) cita que o Kinect é capaz de detectar até 20 articulações do corpo humano simultaneamente (Figura 18). O autor cita ainda que o SDK recorre a um sistema especializado que compara imagens de corpos humanos com os dados obtidos pelo sensor de profundidade permitindo assim determinar rapidamente formas humanas e detectar a posição das articulações. No entanto os dados obtidos estão propensos a falsos positivos.

Figura 18 - Reconhecimento e rastreamento de usuários e marcação de pontos



Fonte: Microsoft (2014)

Um ponto a favor a usar o SDK Kinect é o fato deste realizar a detecção das articulações de maneira preditiva, mantendo assim um nível de precisão elevado, quando comparado com outros SDK's (CAMPOS, 2013).

3.2.2 *Software SAPO*

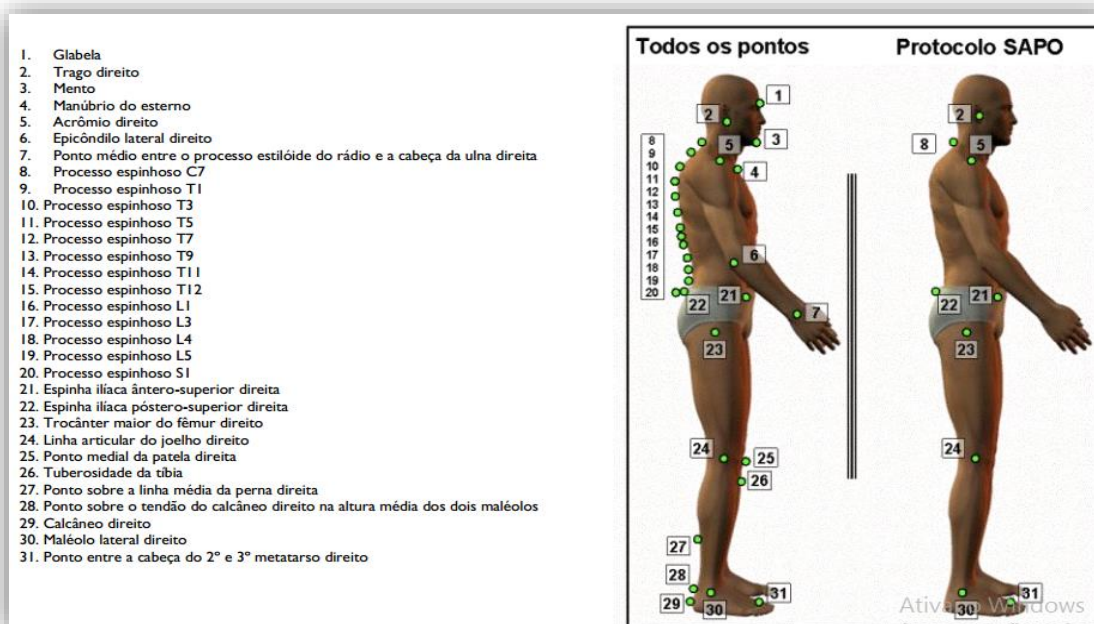
Segundo Noriega (2012) o Software de Avaliação Postural (SAPO) foi desenvolvido em 2003, por meio de um projeto de pesquisa do Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), para possibilitar a mensuração dos desvios posturais a partir de fotografias digitalizadas.

O SAPO baseia-se na marcação de pontos anatômicos espacialmente definidos, além de disponibilizar outras funções como a calibração da imagem, a utilização de zoom, marcação de pontos livres, medição de distâncias e de ângulos (NORIEGA, 2012).

O método utilizado pelo Software de Avaliação Postural (SAPO) é denominado protocolo SAPO de marcação de pontos, tal protocolo é uma sugestão de pontos de marcação e medidas para avaliação postural (SOUZA, 2011). Conforme SAPO (2005) a escolha desses pontos foi baseada na relevância clínica, base científica, viabilidade metodológica e aplicabilidade.

Noriega (2012) informa que apesar de fornecer um protocolo de avaliação postural, o SAPO permite que o usuário defina seu próprio protocolo de marcação de pontos livres. O protocolo SAPO existe para cada uma das vistas a serem avaliadas, sendo elas: anterior, posterior, lateral esquerdo e lateral direito, onde a vista lateral direita foi a utilizada nesse trabalho e é apresentada pela Figura 19 a seguir.

Figura 19 – Vista lateral direita dos pontos anatômicos do protocolo SAPO



Fonte: Noriega (2012)

Noriega (2012) cita que o SAPO foi utilizado em diversos estudos, onde os autores informam que o SAPO é uma ferramenta relativamente simples que fornece além de medidas lineares, valores angulares, e concluíram que o software é capaz de avaliar o paciente eficientemente.

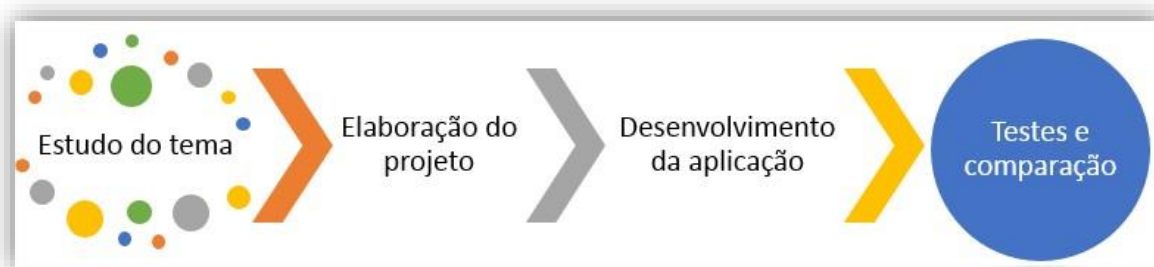
3.3 Metodologia

Para atingir os objetivos propostos, utilizou-se como desenho de estudo uma pesquisa com finalidade metodológica aplicada, objetivo metodológico exploratório e natureza quantitativa, sendo realizado em laboratório com procedimento quase-experimental em um estudo piloto para teste de acurácia.

A metodologia adotada no trabalho segue um conjunto de etapas que foram de grande importância para a sua conclusão. Tais etapas incluem a pesquisa bibliográfica, a escrita e também o desenvolvimento da aplicação.

Pádua (1991) cita que a pesquisa científica é uma atividade utilizada para a solução de problemas, onde é utilizando um método para investigar e analisar as soluções, buscando também algo novo. Com base nesse processo foram realizadas pesquisas bibliográficas, que segundo Pádua (1991) são realizadas através da identificação de dados escritos, como, livros, artigos de revistas, publicações de órgãos oficiais, dissertações de mestrado, teses de doutorados e demais materiais, sendo necessário qualquer trabalho de pesquisa que antecede o próprio trabalho desenvolvido. A seguir, na Figura 20 é apresentada a sequência de etapas que foram executadas no decorrer deste trabalho.

Figura 20 – Estrutura metodológica



Na etapa de estudo foram realizadas pesquisas aprofundadas sobre os temas: avaliação postural, hiperlordose e desenvolvimento com SDK Kinect. A partir deste estudo foram realizadas entrevistas informais com o Professor Pierre Soares Brandão, onde foi obtido conhecimentos sobre particularidades da avaliação da hiperlordose e dessa forma foi possível consolidar o conhecimento obtido.

Após a primeira etapa, foi possível definir os objetivos, hipóteses e justificativas do trabalho e também suas limitações. Além de realizado o estudo sobre as tecnologias que foram utilizadas na fase de desenvolvimento.

Em seguida foi desenvolvida uma aplicação que auxilia o fisioterapeuta no diagnóstico de hiperlordose por meio da obtenção de pontos do corpo humano utilizando o Microsoft Sensor Kinect. Para isso, a aplicação realizará o procedimento aplicando a visão computacional sobre o ambiente, utilizando as câmeras de cor e profundidade do sensor Kinect.

Por fim foram realizados os testes informais e a comparação da ferramenta, onde foram selecionados os voluntários e feita as comparações entre os valores obtidos pela aplicação desenvolvida com os valores do software SAPO.

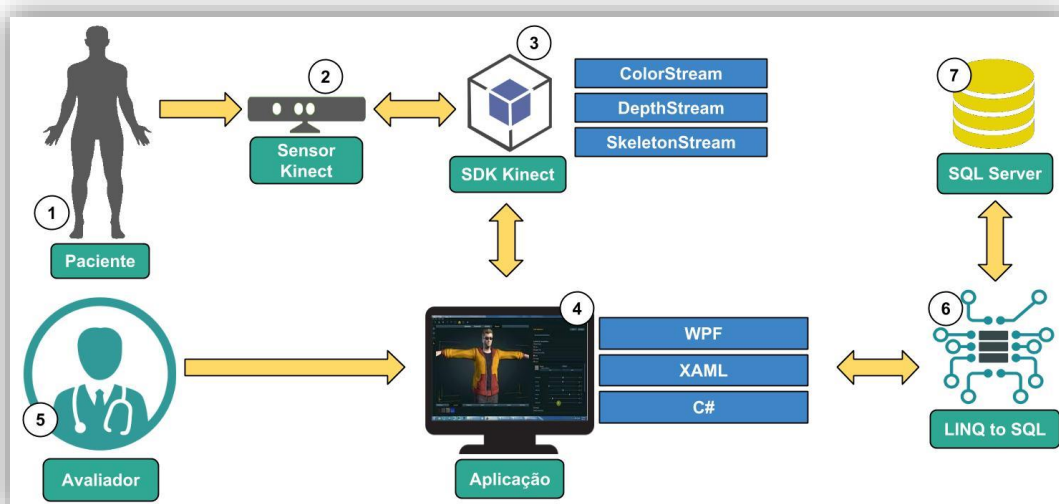
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta os resultados acerca deste trabalho, bem como as dificuldades encontradas. Para a avaliação postural, com intuito de detectar a hiperlordose, foram desenvolvidas duas funcionalidades, ambas utilizando a classe *Skeleton* do Kinect. Inicialmente será apresentada a arquitetura da aplicação e em seguida detalhes sobre a obtenção de atributos da avaliação postural e detalhes da implementação.

4.1 Arquitetura da aplicação

A arquitetura de software segundo Barbosa, G. (2009) é um conjunto de elementos que possuem ligações entre si, onde esses elementos e sua organização são definidas por decisões tomadas para satisfazer os objetivos do software. A Figura 21 a seguir, ilustra a arquitetura da aplicação desenvolvida nesse projeto.

Figura 21 – Arquitetura da aplicação



Na Figura 21 é apresentado a arquitetura da aplicação, a qual será descrita abaixo:

- O paciente (1) deverá ser posicionado de costas em frente ao sensor (2) a uma distância de 3 metros. Dessa forma será possível que o sensor tenha uma boa visão do espaço de avaliação e do paciente, tornado possível a avaliação através dos dados de esqueleto.
- O sensor (2) deve ficar em cima de uma base fixa a uma altura de 1,135 metros em relação ao chão e estar devidamente conectado ao computador pela porta USB e fonte de energia.
- O SDK Kinect (3) fornece várias classes e propriedades para manipular os dados obtidos pelo sensor, sendo elas: o fluxo de imagem de cor, o fluxo de profundidade e o fluxo de

áudio. Esses fluxos serão manipulados pela aplicação desenvolvida para realizar os cálculos necessários para avaliação.

- A aplicação (4) fornece uma interface para que o avaliador (5) possa realizar a avaliação do desvio postural. A interface da aplicação foi elaborada com a tecnologia WPF para desenvolvimento de aplicações desktop utilizando a linguagem de marcação para construção de interfaces, o XAML. Já a codificação da lógica da aplicação foi feita utilizando a linguagem de programação C#.
- O avaliador (5) é responsável por posicionar o paciente de forma correta em frente ao sensor e manipular a aplicação através da interface gráfica para realizar a avaliação postural. A partir da interface inicial, o avaliador irá selecionar o paciente listado no *DataGrid* (elemento do WPF), acessar o módulo de avaliação de hiperlordose e realizar a avaliação.

4.2 Base de dados

Nessa seção será apresentado o banco de dados desenvolvido, bem como a forma de conexão da aplicação com a base e as classes que gerenciam essa conexão. É válido ressaltar que, de forma geral, é fundamental que se tenha um banco de dados para armazenar os dados obtidos e gerados pela aplicação, possuindo assim uma interatividade entre base, aplicação e usuário.

Foi elaborada foi elaborada uma base de dados em conjunto com o grupo de pesquisa para suprir as necessidades das ferramentas desenvolvidas pelo grupo. Além do fato de que é necessário o acompanhamento do quadro clínico do paciente no tratamento do desvio postural, então com a base de dados todos os dados das avaliações feitas são salvos na própria ferramenta. A seguir, na Figura 22 é ilustrado o diagrama do banco de dados criado para a ferramenta.

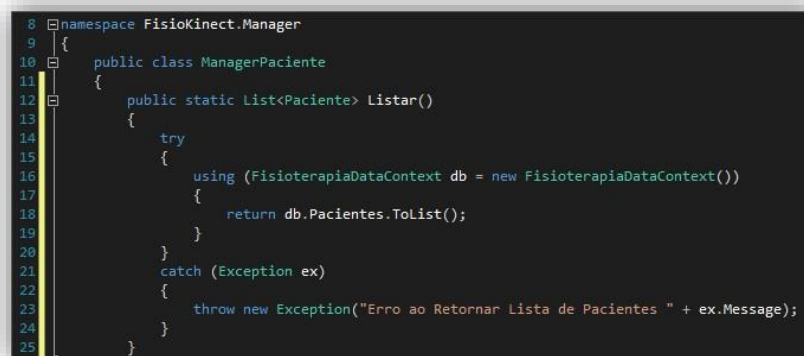
de dados foi utilizado o LINQ to SQL, pois com ele é possível gerenciar o banco em alto nível, facilitando e padronizando o código.

O LINQ é um conjunto de aprimoramentos de linguagem .NET e bibliotecas construídas pela Microsoft para tornar o trabalho com dados mais simples e intuitivo. Ele fornece uma camada de abstração de programação entre as linguagens .NET, como o C#, e as fontes de dados (MAGENNIS, 2010).

Na utilização do LINQ existe um padrão de sintaxe a ser seguido, onde este padrão é atribuído a todo o código criado. Para seguir este padrão o próprio LINQ força o desenvolvedor a usar uma determinada sequência de lógica de programação, tornando o código mais entendível e, portanto, de fácil manutenção (HADDAD, 2009, Online). Além de que permite o desenvolvedor construir classes modelos dos objetos relacionais ORM, que fazem referência as tabelas do banco, para que as classes geradas pelo LINQ as manipule.

No desenvolvimento da ferramenta foram criadas algumas das classes modelos, definidas como *Managers*, cada classe criada representa uma tabela do banco de dados e utilizando o LINQ essas tabelas podem ser manipuladas pela aplicação como objetos. Um exemplo de classe modelo é apresentado na Figura 23 a seguir.

Figura 23 – Trecho de classe modelo LINQ



```

8 namespace Fisiokinect.Manager
9 {
10     public class ManagerPaciente
11     {
12         public static List<Paciente> Listar()
13         {
14             try
15             {
16                 using (FisioterapiaDataContext db = new FisioterapiaDataContext())
17                 {
18                     return db.Pacientes.ToList();
19                 }
20             }
21             catch (Exception ex)
22             {
23                 throw new Exception("Erro ao Retornar Lista de Pacientes " + ex.Message);
24             }
25         }
26     }
27 }

```

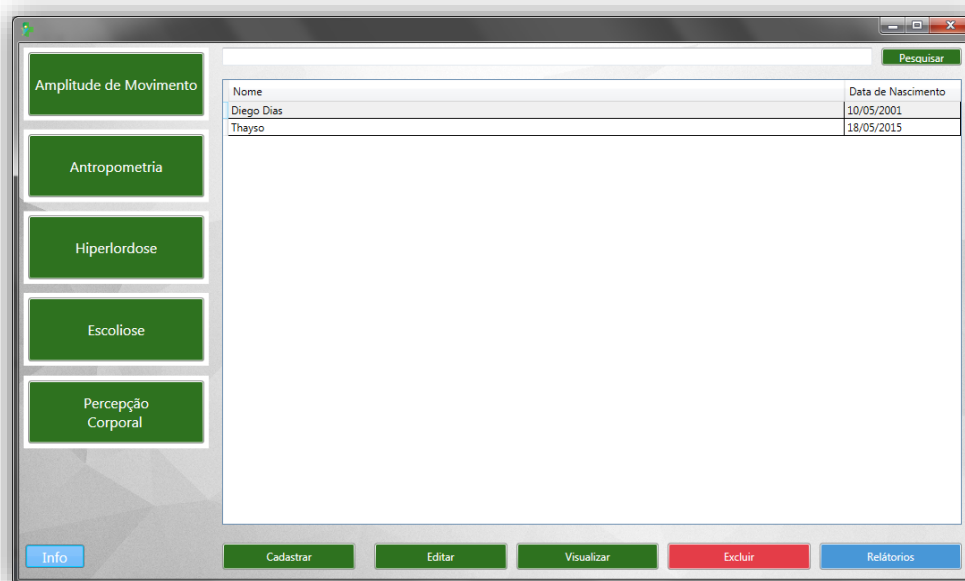
Na figura acima é apresentado o trecho de código para listar os pacientes cadastrados na aplicação. Na linha 16 é realizada a declaração da variável *db*, que recebe uma nova instância da classe *FisioterapiaDataContext*, esta é classe gerada pelo LINQ quando a base de dados foi informada para a ferramenta, ela possibilita a manipulação de todas as tabelas dessa base, tanto para consultas como também para inserção e exclusão de dados.

4.3 Implementação

Essa seção irá mostrar como foi realizada a implementação da ferramenta, os padrões de código utilizados, as classes, métodos criados e interfaces criados.

Na Figura 24 é ilustrado a tela inicial da aplicação desenvolvida em conjunto com o grupo de pesquisa Tecnologia, Saúde e Qualidade de Vida.

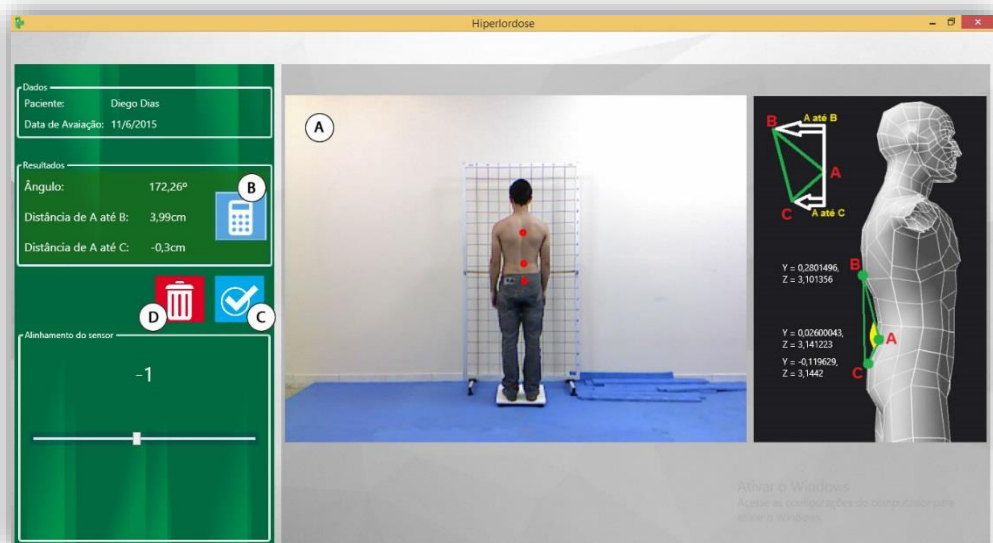
Figura 24 – Tela Inicial da aplicação



Como mostrado na Figura 24, a aplicação possui diversas funcionalidades voltadas para procedimentos fisioterapêuticos, já que faz parte de um projeto desenvolvido pelo grupo de pesquisa. O módulo que segue este projeto pode ser acessado através do botão “*Hiperlordose*”.

Ao acessar o módulo *Hiperlordose* será enviado o comando para invocação da interface de avaliação da coluna lombar, ilustrada pela Figura 25.

Figura 25 – Tela de avaliação de hiperlordose



Ao entrar no módulo de avaliação de hiperlordose, o sensor Kinect será ativado automaticamente, utilizando o método *InicializarSensor*, apresentado na Figura 26. Este método utiliza a classe *SensorKinect* elaborada de acordo com o trabalho de Cardoso (2013). A classe fornece uma série de eventos que possibilitam o tratamento correto do sensor.

Figura 26 – Trecho de código para apresentação da imagem do Kinect

```

46 private void InicializarSeletor()
47 {
48     SensorKinect inicializador = new SensorKinect();
49     inicializador.MetodoInicializadorKinect = inicializarSensor;
50     seletorSensorUI.KinectSensorChooser = inicializador.SeletorKinect;
51 }

```

O método apresentado acima realiza o gerenciamento dos sensores conectados, onde a ativação dos sensores é feita de acordo com a propriedade *MetodoInicializadorKinect*. Na linha 48 do trecho de código acima é declarada a variável *inicializador* que recebe uma instância da classe *SensorKinect*. Na linha 49 a propriedade *MetodoInicializadorKinect* do objeto *inicializador* recebe o método *inicializarSensor* que inicializa o sensor e ativa seus fluxos, como ilustra a Figura 27. E na linha 50 o componente *seletorSensorUI* recebe as informações relativas ao sensor conectado e apresentará na interface a situação atual do sensor, como conectado e desconectado.

Figura 27 – Método para inicializar os fluxos do sensor Kinect

```
53 private void inicializarSensor(KinectSensor kinectSensor)
54 {
55     TransformSmoothParameters smoothing = new TransformSmoothParameters();
56     {
57         smoothing.Smoothing = 0.75f;
58         smoothing.Correction = 0.1f;
59         smoothing.Prediction = 0.1f;
60         smoothing.JitterRadius = 0.05f;
61         smoothing.MaxDeviationRadius = 0.1f;
62     };
63
64     kinect = kinectSensor;
65     labelAngulacaoKinect.Content = kinect.ElevationAngle;
66     kinect.ColorStream.Enable();
67     kinect.DepthStream.Enable();
68     kinect.SkeletonStream.Enable(smoothing);
69     kinect.AllFramesReady += kinect_AllFramesReady;
70 }
71
```

O método *inicializarSensor* recebe como parâmetro o sensor que atualmente está conectado no computador, podendo assim trabalhar com suas propriedades e métodos. Nas linhas 55 a 62 do método é feita a declaração da variável *smoothing*, que recebe uma instância da classe *TransformSmoothParameters* existente no SDK. Essa classe tem a finalidade de nivelar os valores obtidos pelo fluxo de esqueleto através da utilização de técnicas matemáticas (MICROSOFT, 2014). As propriedades existentes na classe *TransformSmoothParameters* são: *Smoothing*, *Correction*, *Prediction*, *JitterRadius* e *MaxDeviationRadius*, onde seus valores são definidos de acordo com a necessidade de cada aplicação.

Ainda no método *inicializarSensor*, na linha 64 o sensor Kinect recebido por parâmetro é declarado em uma variável global do módulo de avaliação, onde todos os métodos existentes neste módulo poderão acessá-la. Nas linhas 66, 67 e 68, são ativados respectivamente os fluxos de cor, profundidade, e esqueleto, onde o fluxo de esqueleto recebe por parâmetro a variável *smoothing*, para que ocorra o nivelamento do esqueleto obtido pelo sensor. Por fim na linha 69 é utilizado o evento *AllFramesReady*, que permite trabalhar de maneira conjunta com todos os fluxos do Kinect. Esse evento recebe ainda o método *Kinect_AllFramesReady*, ilustrado pela Figura 28 a seguir.

Figura 28 – Método para manipular os fluxos do sensor Kinect

```

72 private void kinect_AllFramesReady(object sender, AllFramesReadyEventArgs e)
73 {
74     byte[] imagem = FuncoesImagem.ObterImagemSensorRGB(e.OpenColorImageFrame());
75     depthFrame = e.OpenDepthImageFrame();
76     esqueleto = e.OpenSkeletonFrame();
77
78     if (imagem != null)
79         canvasKinect.Background = new ImageBrush(
80             BitmapSource.Create(kinect.ColorStream.FrameWidth,
81                               kinect.ColorStream.FrameHeight,
82                               96, 96, PixelFormats.Bgr32, null,
83                               imagem,
84                               kinect.ColorStream.FrameBytesPerPixel
85                               * kinect.ColorStream.FrameWidth
86             ));
87
88     canvasKinect.Children.Clear();
89     if (esqueleto != null)
90     {
91         esqueleto.DesenharPontosEsqueleto(kinect, canvasKinect, e.OpenDepthImageFrame());
92     }
93
94 }

```

O método informado acima trabalha como o evento *AllFramesReady* do sensor Kinect e fornece o objeto *AllFramesReadyEventArgs* como parâmetro, onde por este é possível trabalhar com os fluxos disponibilizados pelo SDK.

Na linha 74 a imagem de cores RGB é tratada pelo método *ObterImagemSensorRGB*, este recebe um quadro de imagem de cores e retorna uma array de bytes que representam a imagem de cores. O método está localizado na classe *FuncoesKinect* que agrupa uma série de funções utilizadas pelas aplicações desenvolvidas pelo grupo de pesquisa.

Nas linhas 75 e 76 são atribuídos para as variáveis globais *depthFrame* e *esqueleto* respectivamente os quadros de profundidade e de esqueleto para seu posterior uso em outros métodos da interface.

Na linha 79 os bytes da imagem de cores são atribuídos ao componente *canvasKinect* (componente A, apresentado na Figura 25) da interface, assim a visão captada pelo sensor é apresentada na aplicação.

E, por fim, na linha 91 é utilizado o método *DesenharPontosEsqueleto*, criado especificamente para apresentar no *canvasKinect* os pontos que serão utilizados pela ferramenta na avaliação postural. Na Figura 29 a seguir são apresentados alguns trechos do método.

Figura 29 – Trecho do método para desenhar ponto do esqueleto

```

158 public static void DesenharPontosEsqueleto(this SkeletonFrame quadro,
159     KinectSensor kinectSensor, Canvas canvas, DepthImageFrame depthFrame)
160 {
161     if (kinectSensor == null)
162         throw new ArgumentNullException("kinectSensor");
163     if (canvas == null)
164         throw new ArgumentNullException("canvas");
165     Skeleton esqueleto = ObterEsqueletoUsuario(quadro);
166     if (esqueleto != null)
167     {
168         EsqueletoUsuario esqueletoUsuarioAuxiliar = new EsqueletoUsuario(kinectSensor);
169
170         Joint CentroOmbro = esqueleto.Joints[JointType.ShoulderCenter];
171         Joint OmbroDireito = esqueleto.Joints[JointType.ShoulderRight];
172         Joint OmbroEsquerdo = esqueleto.Joints[JointType.ShoulderLeft];
173
174         Joint Coluna = esqueleto.Joints[JointType.Spine];
175         Joint CentroQuadril = esqueleto.Joints[JointType.HipCenter];
176         Joint QuadrilEsquerdo = esqueleto.Joints[JointType.HipLeft];
177         Joint QuadrilDireito = esqueleto.Joints[JointType.HipRight];
206         ponto = new SkeletonPoint
207         {
208             X = localPontoMedioQuadril[0],
209             Y = localPontoMedioQuadril[1],
210             Z = localPontoMedioQuadril[2]
211         };
212         Joint PontoMedioQuadril = new Joint();
213         PontoMedioQuadril.Position = ponto;
214
215         esqueletoUsuarioAuxiliar.DesenharArticulacao(
216             PontoMedioOmbros, canvas, Brushes.Red
217         );
218         esqueletoUsuarioAuxiliar.DesenharArticulacao(
219             Coluna, canvas, Brushes.Red
220         );
221         esqueletoUsuarioAuxiliar.DesenharArticulacao(
222             PontoMedioQuadril, canvas, Brushes.Red
223         );
224     }
225 }

```

Conforme apresentado no trecho de código acima, nas linhas 170 a 213 é realizado o processo para escolher os pontos que serão desenhados. Nas linhas 215 a 223 do código são informados para o método *DesenharArticulacao* os pontos que serão desenhados no *canvasKinect*, o método está presente na classe *EsqueletoUsuario*, uma classe publica para toda ferramenta e que contém os métodos responsáveis por realizar a apresentação visual dos pontos e das retas que os interligam, fazendo referência aos ossos do esqueleto.

Após toda etapa de inicialização e apresentação dos pontos, é possível realizar a avaliação da curvatura, onde o avaliador deverá clicar sobre o botão de avaliação (B) ilustrado na Figura 25. O botão possui o evento *btnAvaliar_Click*, ilustrado pela Figura 30 a seguir, que é disparado quando recebe o clique.

Figura 30 – Trecho de código do evento do botão de avaliação

```

117 private void btnAvaliar_Click(object sender, RoutedEventArgs e)
118 {
119     if (esqueleto != null && depthFrame != null)
120     {
121         Skeleton esq = Extensao.ObterEsqueletoUsuario(esqueleto);
122         if (esq != null)
123         {
124             canvasAnugloAval.Children.Clear();
125             double[] valores = FuncoesImagem.avaliarLordose(kinect, esq, depthFrame,
126                 canvasKinect, canvasAnugloAval);
127
128             angulo = valores[0];
129             labelAngulo.Content = Convert.ToString(angulo) + "°";
130
131             distanciaAB = valores[1];
132             distanciaAC = valores[2];
133             labelDistAB.Content = Convert.ToString(distanciaAB) + "cm";
134             labelDistAC.Content = Convert.ToString(distanciaAC) + "cm";

```

Na linha 119 do evento é realizada a checagem de consistência dos quadros de esqueleto e profundidade que são utilizados na avaliação. Após as checagens, na linha 121 é declarada a variável *esq* que recebe o método *ObterEsqueletoUsuario*. O método trata o quadro de esqueleto obtido pelo sensor e retorna um objeto do tipo *Skeleton* para a variável *esq*, dessa forma os pontos do esqueleto do paciente podem ser utilizados para a avaliação.

Na linha 125 é declarado um vetor do tipo *double* que recebe os valores retornados pelo método *avaliarLordose*, após receber os valores, eles serão apresentados na interface de avaliação. Um trecho deste método é apresentado na Figura 31 a seguir.

Figura 31 – Trecho de código do método *avaliarLordose* para obtenção dos pontos do esqueleto

```

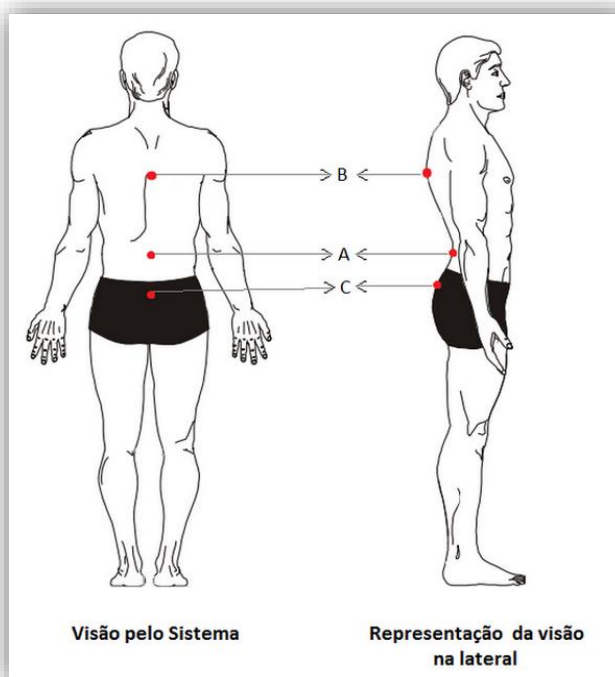
161 public static double[] avaliarLordose(KinectSensor kinect, Skeleton esqueleto,
162 DepthImageFrame depthFrame, Canvas canvas, Canvas canvasAngulo)
163 {
164     // Início Joints -----
165     Joint ShoulderRight = esqueleto.Joints[JointType.ShoulderRight];
166     Joint ShoulderLeft = esqueleto.Joints[JointType.ShoulderLeft];
167
168     Joint Spine = esqueleto.Joints[JointType.Spine];
169     Joint HipCenter = esqueleto.Joints[JointType.HipCenter];
170     Joint HipLeft = esqueleto.Joints[JointType.HipLeft];
171     Joint HipRight = esqueleto.Joints[JointType.HipRight];

```

Este trecho de código realiza a obtenção dos pontos do esqueleto utilizados na avaliação do desvio postural.

No método são mapeados três pontos para a avaliação, que são: o ponto A, *PontoMedioOmbros*, que é obtido através das coordenadas do ponto médio dos ombros (*ShoulderLeft* e *ShoulderRight*); o ponto B (*Spine*) fornecido pela própria classe *Skeleton*; e o ponto C, *PontoMedioQuadris*, obtido através das coordenadas do ponto médio dos quadris (*HipLeft* e *HipRight*), esses três pontos podem ser observados na Figura 32.

Figura 32 – Representação dos pontos de avaliação obtidos pelo sensor Kinect



Fonte: Adaptado de Iunes et al. (2009)

A análise dos dados ocorrerá de duas formas, que estão no método *avaliarLordose*, a primeira que calcula o ângulo da curvatura e a segunda que calcula as distâncias entre os pontos da coluna. A primeira forma é apresentada a seguir pela Figura 33.

Figura 33 – Trecho do método *avaliarLordose* para cálculo do ângulo

```

205 double disAB = KinectMath.DistDoisPontos(Spine.Position.Z, Spine.Position.Y,
206     PontoMedioOmbros.Position.Z, PontoMedioOmbros.Position.Y);
207
208 double disAC = KinectMath.DistDoisPontos(Spine.Position.Z, Spine.Position.Y,
209     PontoMedioQuadris.Position.Z, PontoMedioQuadris.Position.Y);
210
211 double disBC = KinectMath.DistDoisPontos(PontoMedioOmbros.Position.Z,
212     PontoMedioOmbros.Position.Y, PontoMedioQuadris.Position.Z,
213     PontoMedioQuadris.Position.Y);
214
215 double anguloOMJ = KinectMath.CalcularCosseno(disBC, disAC, disAB);

```

Na Figura 33 acima é ilustrado o trecho de código que realiza o cálculo do ângulo utilizando pontos do esqueleto obtidos pelo Kinect. Primeiramente será calculada a distância entre os pontos A e B, a distância entre os pontos A e C, e a distância entre os pontos B e C utilizando a equação da distância entre dois pontos, representada pela Equação 3. A distância é calculada utilizando as coordenadas y e z dos pontos considerando que estes estejam em um plano cartesiano.

Equação 3 - Distância entre dois pontos

$$D = \sqrt{(z_2 - z_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Fonte: Adaptado de Venturi (2008)

A equação da distância entre dois pontos foi implementada como o método *DistDoisPontos* na classe *KinectMath*, essa classe contém as funções matemáticas utilizadas na aplicação, como, cálculo ângulos e distâncias. O método é ilustrado na Figura 34 abaixo.

Figura 34 – Método para calcular a distância entre dois pontos

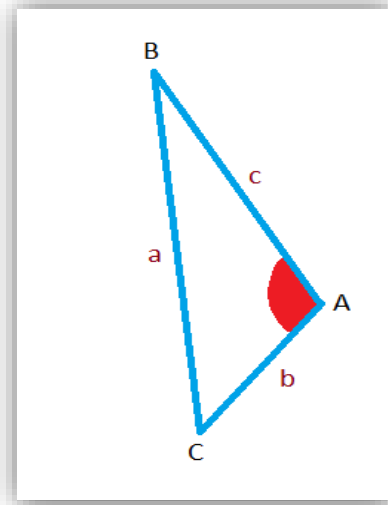
```

113 public static double DistDoisPontos(double xa, double ya, double xb, double yb)
114 {
115     return Math.Sqrt(Math.Pow((xb - xa), 2) + Math.Pow((yb - ya), 2));
116 }

```

Com a reta *a* obtida pela distância entre os pontos B e C, a reta *b* obtida pela distância entre o ponto A e o ponto C, e a reta *c* obtida pela distância entre os pontos A e B, pode-se representar o triângulo, como ilustrado na Figura 35.

Figura 35 – Triângulo da lordose



O ângulo em vermelho, gerado pela interseção da reta que se estende do ponto *Spine* a *PontoMedioOmbros* com a reta que se estende do ponto *Spine* a *PontoMedioQuadris* (ASSH), é o resultado final calculado pelo sistema e será utilizado posteriormente na etapa de análise dos resultados.

Conforme Machado (1986), é possível igualar um triângulo qualquer com lados a , b e c à equação dos cossenos ilustrada a seguir.

Equação 4 - Lei dos cossenos

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A$$

Fonte: Machado (1986)

Machado (1986) ainda informa que a lei dos cossenos se aplica a qualquer lado do triângulo, ou seja, também é possível aplicar ao cosseno de B e cosseno de C. No entanto, da maneira que fórmula está elaborada pode-se somente encontrar a distância a . Para encontrar o ângulo utilizando a lei dos cossenos é necessário alterar a ordem da equação, fazendo com que o $\cos A$ receba a igualdade, como mostra a Equação 5 a seguir.

Equação 5 - Cosseno do ângulo α

$$\cos \alpha = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}$$

Fonte: Machado (1986)

Assim a equação da lei dos cossenos foi implementada como o método *CalcularCosseno*, onde é possível obter a angulação de qualquer vértice do triângulo. O método é ilustrado pela Figura 36 a seguir.

Figura 36 – Método para cálculo do cosseno

```
142 public static double CalcularCosseno(double a, double b, double c)
143 {
144     double cos = ((b * b) + (c * c) - (a * a)) / (2 * (b * c));
145     if (cos <= 1 && cos >= -1)
146         return Math.Acos(cos) * 180 / Math.PI;
147     else
148         return -1;
149 }
```

Nesse trabalho o ângulo do ponto A, ilustrado na Figura 35, foi utilizado para análise do grau de curvatura lombar, então o cálculo do ângulo será realizado pelo método *CalcularCosseno*, que encontra o cosseno do ponto A pelo método *Math.Acos* fornecido pela ferramenta Visual Studio e posteriormente calcula o ângulo pelo cosseno obtido.

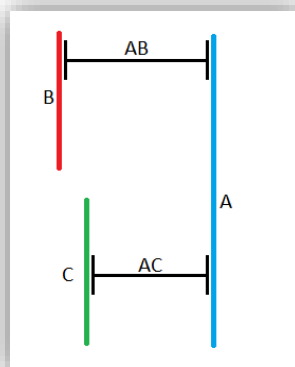
Na segunda forma de avaliação também serão utilizados os três pontos (A, B e C) para cálculo de distâncias. O trecho do método que corresponde a esse cálculo é ilustrado pela Figura 37 a seguir.

Figura 37 – Trecho do método *avaliarLordose* para cálculo das distâncias

```
225 vetorAngulo[1] = Math.Round((Spine.Position.Z - PontoMedioOmbros.Position.Z) * 100, 3);
226 vetorAngulo[2] = Math.Round((Spine.Position.Z - PontoMedioQuadril.Position.Z) * 100, 3);
```

Na linha 225 do método *avaliarLordose* é calculada a distância AB, que é a distância entre o ponto A até a reta formada por B e a vertical, e também é calculada na linha 226 a distância AC, que é a distância entre o ponto A até a reta formada por C e a vertical, como ilustra a Figura 38. Os valores obtidos são fornecidos pelo sensor Kinect em milímetros, então é feita a conversão para centímetros multiplicando os valores por 100, e a função *Math.Round* é utilizada para arredondar os valores em três casas decimais.

Figura 38 – Distância AB e AC



Ambas avaliações ocorreram no mesmo instante em que foi solicitado o comando à ferramenta. Os resultados da avaliação e comparação entre a ferramenta desenvolvida com o SAPO serão apresentados na seção seguinte.

4.4 Análise dos Resultados

Na fase de comparação dos resultados da ferramenta foi realizado um estudo quantitativo dos desvios posturais. Foram avaliados 16 voluntários do sexo masculino no período de junho de 2015, sendo que todos os participantes selecionados fazem o curso de Sistemas de Informação no CEULP/ULBRA.

4.4.1 Procedimentos

Como na avaliação realizada por Santos (2012), foi solicitado a todos os participantes a ficar em posição ortostática com os braços em posição neutra ao longo do corpo, descalços e com os pés paralelos entre si, além de que ficaram sobre uma plataforma de 40cm x 40cm à uma altura de 5,5 cm do chão. Também foram posicionados em frente à um aparelho simetrógrafo e em visão posterior em relação à câmera. Foram orientados a manter os olhos abertos e olhar para o horizonte, e não houve influência verbal para a correção da postura. Esse processo foi feito tanto para realizar as fotografias quanto para a avaliação com a ferramenta utilizando o Kinect.

Para a avaliação realizada pela ferramenta desenvolvida, o sensor Kinect foi posicionando à uma distância de 3 metros do paciente, sobre uma base fixa com 1,14 metros de altura, possibilitando a visão total do paciente pelo sensor.

Na avaliação com o software SAPO, foi utilizada a câmera fotográfica Canon EOS Rebel XSI 12.20 megapixels. A câmera foi posicionada a uma distância de 3 metros do

paciente, sobre uma base fixa com 1,14 metros de altura, afim de capturar todo o corpo do paciente. Além do cuidado metodológico com os aparelhos para a captura da fotografia, foram também demarcados com pincel alguns pontos anatômicos do voluntário, tais pontos serão abordados na próxima seção.

4.4.2 Avaliação dos Resultados

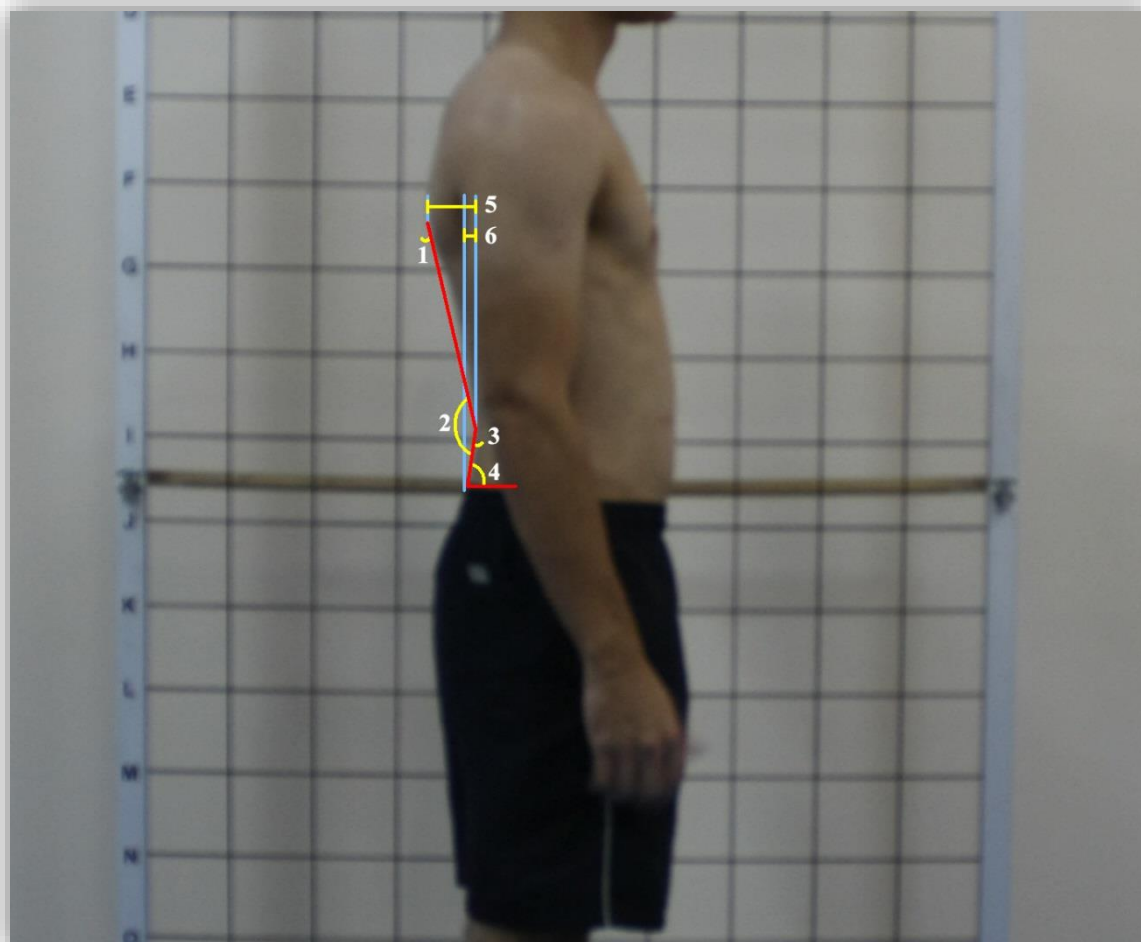
Nessa seção serão abordados os resultados da avaliação realizada com o software SAPO e os resultados da avaliação com a ferramenta desenvolvida, realizando a comparação entre os valores obtidos. Como apresentado anteriormente foram avaliados 16 voluntários, onde para todos eles foram coletados os ângulos descritos abaixo.

Para análise dos dados obtidos pelo SAPO foram traçados alguns ângulos com os pontos anatômicos descritos na seção 4.4.1. Os ângulos e distâncias traçadas foram:

- ATLS – ângulo gerado pela interseção da reta que se estende de L4 a T7 com a reta que se estende de L4 a S1;
- AHEIL – ângulo formado pela interseção da reta horizontal da espinha ilíaca pósterosuperior com a reta paralela às vertebrae lombares;
- ATLV – ângulo gerado pela interseção da reta que se estende de T7 a L4 com a vertical;
- ALSV – ângulo gerado pela interseção da reta que se estende de S1 a L4 com a vertical;
- DLT – distância da reta vertical de L4 até a reta vertical de T7;
- DLS – distância da reta vertical de L4 até a reta vertical de S1.

A Figura 39 a seguir ilustra a demarcação dos pontos no SAPO, onde as marcações 1, 2, 3, 4, 5 e 6 correspondem respectivamente aos ângulos e distâncias ATLS, AHEIL, ATLV, ALSV, DLT e DLS.

Figura 39 – Demonstração de ângulos traçados no SAPO



A Tabela 1 a seguir mostra os valores obtidos na avaliação realizada com o software SAPO.

Tabela 1 – Resultados da avaliação feita com o SAPO

| <i>Voluntário</i> | <i>SAPO</i> | | | | | |
|-------------------|-------------|-------|------|------|-----------|------|
| | Ângulo | | | | Distância | |
| | ATLS | AHEIL | ATLV | ALSV | DLT | DLS |
| 1 | 158,1 | 84,5 | 11,2 | 4,8 | 5,6 | 7,35 |
| 2 | 148,7 | 79,2 | 13,8 | 10,5 | 5,64 | 7,93 |
| 3 | 155 | 79,5 | 12,8 | 8,5 | 6,51 | 5,62 |
| 4 | 152,6 | 79,3 | 7,6 | 13,7 | 6,79 | 7,58 |
| 5 | 169 | 91,9 | 10,8 | 2,5 | 8,06 | 7,3 |
| 6 | 150,8 | 81,3 | 16,1 | 3,2 | 7,38 | 7,2 |

| | | | | | | |
|-----------|-------|------|------|------|------|------|
| 7 | 147,5 | 73,7 | 15,5 | 17 | 6,16 | 7,04 |
| 8 | 155,7 | 77,7 | 10,4 | 12,5 | 6,44 | 8,39 |
| 9 | 156,9 | 74,3 | 7,5 | 13,7 | 8,76 | 6,86 |
| 10 | 165,6 | 85,2 | 6,9 | 7 | 4,55 | 7,82 |
| 11 | 143,3 | 71 | 14,2 | 20,4 | 8,28 | 7,43 |
| 12 | 157,5 | 78,7 | 12,5 | 9,5 | 4,08 | 6,92 |
| 13 | 151,3 | 69,8 | 11,1 | 15,1 | 5,86 | 4,37 |
| 14 | 163,8 | 67,8 | 10,1 | 6,5 | 3,86 | 4,39 |
| 15 | 152,4 | 70,1 | 15,4 | 11,9 | 6,7 | 7,1 |
| 16 | 163,6 | 82,6 | 8,9 | 5,3 | 5,7 | 7,9 |

Já para avaliação realizada pela ferramenta desenvolvida foram obtidos os valores dos seguintes ângulos e distâncias:

- ASSH – ângulo gerado pela interseção da reta que se estende do ponto *Spine* a *PontoMedioOmbros* com a reta que se estende do ponto *Spine* a *PontoMedioQuadris*;
- DSPS – distância da reta vertical de *Spine* até a reta vertical de *PontoMedioOmbros*;
- DSPH – distância da reta vertical de *Spine* até a reta vertical de *PontoMedioQuadris*.

O ângulo ASSH é ilustrado pela Figura 35, e as distâncias DSPS e DSPH são ilustradas pela Figura 38, onde correspondem à distância AB e AC respectivamente.

Os resultados obtidos na avaliação realizada pela ferramenta desenvolvida são apresentados pela Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados da avaliação feita pela ferramenta desenvolvida

| <i>Voluntário</i> | <i>Ferramenta</i> | | |
|-------------------|-------------------|------------------|-------------|
| | Ângulo | Distância | |
| | ASSH | DSPS | DSPH |
| 1 | 139,16 | 5,6 | 7,35 |
| 2 | 138,1 | 5,64 | 7,93 |
| 3 | 142,41 | 6,51 | 5,62 |
| 4 | 134,7 | 6,79 | 7,58 |
| 5 | 134,97 | 8,06 | 7,3 |
| 6 | 137,24 | 7,38 | 7,2 |
| 7 | 141,95 | 6,16 | 7,04 |
| 8 | 135,62 | 6,44 | 8,39 |
| 9 | 135,1 | 8,76 | 6,86 |

| | | | |
|-----------|--------|------|------|
| 10 | 140,18 | 4,55 | 7,82 |
| 11 | 136,71 | 8,28 | 7,43 |
| 12 | 142,54 | 4,08 | 6,92 |
| 13 | 149,95 | 5,86 | 4,37 |
| 14 | 154,37 | 3,86 | 4,39 |
| 15 | 140,0 | 6,7 | 7,1 |
| 16 | 138,8 | 5,7 | 7,9 |

Foram calculados a média e desvio padrão, além de obtido o menor e maior valor sobre os resultados obtidos com as avaliações para cada ângulo e distância. A Tabela 3 a seguir mostra as médias e desvios dos ângulos obtidos pelo software SAPO.

Tabela 3 – Média dos resultados obtidos pelo software SAPO

| SAPO | Média | Desvio Padrão | Mínimo | Máximo |
|-------------|--------------|----------------------|---------------|---------------|
| ATLS | 155,7 | 7,1 | 143,3 | 169 |
| AHEIL | 77,9 | 6,5 | 67,8 | 91,9 |
| ATLV | 11,6 | 3 | 6,9 | 16,1 |
| ALSV | 10,1 | 5,1 | 2,5 | 20,4 |
| DLT | 5,6 | 1,4 | 2,9 | 7,7 |
| DLS | 1,6 | 0,5 | 0,5 | 2,4 |

Apesar da obtenção dos dados pela ferramenta e pelo SAPO não é possível realizar a comparação entre os valores, pois estes não foram obtidos por um avaliador experiente na utilização do software SAPO e também pelo fato que os valores obtidos pelas diferentes ferramentas não são correspondentes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve o objetivo de desenvolver uma ferramenta que realize a avaliação do desvio postural do tipo hiperlordose em pacientes, como também a realização de testes e comparações com o Software de Avaliação Postural (SAPO).

Na fase inicial, foram realizados estudos sobre os conceitos relacionados ao trabalho, buscando através de referências bibliográficas entender sobre a coluna vertebral e o desvio postural lordose, com também sobre o sensor Microsoft Kinect e suas funcionalidades. Dentre os conceitos que envolvem a análise do desvio postural foram apresentadas algumas técnicas bastante utilizadas pelos fisioterapeutas para avaliar a curvatura lombar, tais como a avaliação por radiografia, por simetria e por fotogrametria.

Foi necessário entender bem o funcionamento do sensor Kinect, como, a sua ativação, a ativação dos fluxos e a obtenção dos quadros fornecidos pelos fluxos, que é onde estão os dados que a aplicação utiliza para realizar a avaliação. Após o entendimento acerca do funcionamento do sensor, foi definida a utilização da classe Skeleton para obtenção das articulações do esqueleto, possibilitando traçar retas e ângulos, que são atributos para a avaliação postural. Assim foi possível comparar os valores de ângulos e distâncias calculados pela ferramenta com os ângulos e distâncias encontrados utilizando o SAPO.

Para a comparação foram avaliados 16 voluntários, onde todos eles foram avaliados pela ferramenta e também pelo SAPO. Durante todo o processo foi observado que houve grande variância dos valores obtidos pelo sensor, causados pela influência da luminosidade e circulação do ar, tornando necessária a avaliação em ambientes fechados e com boa luminosidade. Ocorreu ainda a marcação dos pontos do esqueleto, pelo sensor, em diferentes locais do corpo para os diferentes voluntários avaliados.

Com os valores obtidos e com a correlação feita entre eles, conclui-se que os valores apresentam diferenças significativas entre si. No entanto, a avaliação realizada pelo software SAPO, que é a base de comparação com a ferramenta desenvolvida, foi feita por um avaliador inexperiente com a área da fisioterapia (próprio autor deste trabalho), que envolve todo o processo de localização e demarcação dos pontos anatômicos, como também não familiarizado com o próprio SAPO. Além de que a marcação dos pontos do esqueleto feita pelo sensor Kinect apresenta grande variabilidade entre diferentes pessoas. Portanto, não é possível dizer que a ferramenta desenvolvida apresenta dados corretos ou não, tornando

necessária a validação da ferramenta por um avaliador qualificado que tenha amplo conhecimento do método que será utilizado como base de comparação dos dados.

Por isto, como trabalho futuro e com o intuito de aumentar a acurácia da ferramenta, pode adaptar a mesma para o sensor Kinect One, que possuir melhorias significativas em relação Kinect 360, tanto para os recursos de imagem e resolução, quanto para o rastreamento de esqueleto, conforme apresentado em MSDN (2014).

Novos trabalhos poderão surgir com intuito de analisar a curvatura lombar utilizando o recurso *Fusion* do sensor Kinect, onde este recurso permite a modelagem de objetos em três dimensões, já que alguns desvios posturais são tridimensionais.

Também existe a possibilidade do surgimento de trabalhos que analisem o desvio postural pelo plano sagital. Para isso serão envolvidos conceitos de visão computacional e processamento de imagem, onde o Kinect será de grande auxílio, pois fornece dados de profundidade que podem ser utilizados no processamento da imagem.

6 REFERÊNCIAS

ALVES, F. P. et al. **Aplicação da fotogrametria digital à curta distância na medição da expansibilidade pulmonar**. Disponível em:

<[http://www.ufpe.br/cgtg/ISIMGEO/CD/html/Fotogrametria e Sensoriamento Remoto/Artigos/f001.pdf](http://www.ufpe.br/cgtg/ISIMGEO/CD/html/Fotogrametria%20e%20Sensoriamento%20Remoto/Artigos/f001.pdf)>. Acesso em: 7 out. 2014.

ARAÚJO, T. H. et al. Posicionamento da pelve e lordose lombar em mulheres com incontinência urinária de esforço. **Fisioterapia e Pesquisa**, São Paulo, v. 17, n. 2, p.130-135, abr. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1809-29502010000200007&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 13 out. 2014.

AVALIAÇÃO FÍSICA. Avaliação Postural. 01 jun. 2004. Disponível em: <<http://www.avaliacaofisica.com.br/si/site/0210>>. Acesso em: 02 dez. 2014.

BARBOSA, A. F. **Avaliação da Influência do Mobiliário Escolar na Postura Corporal em Alunos Adolescentes**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas Área de Especialização Engenharia Humana) - Escola de Engenharia, Universidade do Minho, 2009.

BARBOSA, G. M. G. **Um Livro-texto para o Ensino de Projeto de Arquitetura de Software**. 2009. 209 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009. Disponível em: <http://docs.computacao.ufcg.edu.br/posgraduacao/dissertacoes/2009/Dissertacao_GuilhermeMauroGermoglioBarbosa.pdf>. Acesso em: 21 maio 2015.

BARROS, F. S. O.; PINHEIRO, F. S.; FERLIN, C. Cyber Guide-Dog - Help System To The Displacement Visually Impaired People. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGY MANAGEMENT, 10., 2013, São Paulo. **Anais...**. São Paulo: Contecsi, 2013. p. 3526 - 3538. Disponível em: <http://www.infoteca.inf.br/contecsi/smarty/templates/arquivos_template/upload_arquivos/acervo/docs/PDFs/188.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2014.

BEEN, E., KALICHMAN, L. Lumbar lordoses. **The Spine Journal**, v.14, n. 1, p. 87-97. jan, 2014.

BIENFAIT, M. **Os desequilíbrios estáticos: filosofia, patologia e tratamento fisioterápico**. São Paulo: Sumus editorial, 1995.

BRADFORD, D. S et al. **Escoliose e outras deformidades da coluna: o livro de moe**. 2. ed. Santos. SP. 1994.

BOULAY, C. et al. Sagittal alignment of spine and pelvis regulated by pelvic incidence: standard values and prediction of lordosis. **European Spine Journal**. p. 415-422. abr. 2006.

CARVALHO, J. M. **Sistemas de Processamento Digital de Imagens para Fins Didático/Científico: Estudo, Seleção e Implementação de Algoritmos de Segmentação**. 1998. 57 f. Universidade Federal de Paraíba, Paraíba, 1998. Disponível em: <<http://webserver2.tecgraf.puc-rio.br/~scuri/inf1378/pub/segmentacao.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2014.

CAMPOS, G. P. **Sistema para fisioterapia baseado na plataforma Kinect**. 2013. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2013. Disponível em: <<http://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/67745>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

CARDOSO, G. S. **Microsoft Kinect: Criando Aplicações Interativas com o Microsoft Kinect**. São Paulo: Casa do Código, 2013. 181 p.

DIEGO-MAS, Jose Antonio; ALCAIDE-MARZAL, Jorge. Using Kinect sensor in observational methods for assessing postures at work. **Applied Ergonomics**. Valencia, jul. 2014. p. 976-985. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003687013002676>>. Acesso em: 02 dez. 2014.

FERREIRA, D. M. A. **Estudo clínico da mensuração da gibosidade e suas correlações com medidas radiológicas na escoliose idiopática**. 1999. Dissertação (Mestrado em Bioengenharia) - Bioengenharia, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 1999. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/82/82131/tde-08112001-144444/>>. Acesso em: 2014-12-03.

FISIOTERAPIA QUINTANA. A Avaliação Postural. 06 jan. 2010. Disponível em: <<http://fisioterapiaquintana.blogspot.com.br/2010/01/avaliacao-postural.html>>. Acesso em: 25 nov. 2014.

FONSECA, M. P. A. **Desenvolvimento de software de visão computacional para leitura de termômetros de mercúrio visando sua calibração**. 2013. 76 f. Tese (Doutorado) - Curso de Curso de Graduação em Engenharia de Controle de Automação, Departamento de Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <http://coro.cpdee.ufmg.br/attachments/128_Monografia_MarianaFonseca.pdf>. Acesso em: 06 nov. 2014.

GALNA, B. et al. Accuracy of the Microsoft Kinect sensor for measuring movement in people with Parkinson's disease. **Gait & Posture**. Newcastle Upon Tyne, p. 1062-1068. maio 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966636214000241>>. Acesso em: 02 dez. 2014.

HADDAD, R. **Dez Razões para Adotar o LINQ nas Aplicações .NET**. 2009. Disponível em: <<https://msdn.microsoft.com/pt-br/library/dd890987.aspx>>. Acesso em: 15 de abr. 2015.

IUNES, D. H. et al. Análise comparativa entre avaliação postural visual e por fotogrametria computadorizada. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, São Carlos, v. 13, n. 4, p.308-315, jul. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbfis/v13n4/aop037_09.pdf>. Acesso em: 08 maio 2015.

IUNES, D. H. et al. Confiabilidade intra e interexaminadores e repetibilidade da avaliação postural pela fotogrametria. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, v. 9, n. 3, p. 327-334, 2005.

JAHNE, Bernd; HAUBECKER, Horst; GEIBLER, Peter. **Handbook of Computer Vision and Applications**. 3. ed. San Diego: Academic Press, 1999.

KAPANDJI, A. I. **Fisiologia articular**: esquemas comentados de mecânica humana / A.I. KAPANDJI; com desenhos originais do autor. São Paulo: Pan-americana; Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000. v. 3.

KENDALL, F. P. MC CREARY, E.K. PROVANCE. P.G. **Músculos**: Provas e funções. 4. Ed. Manole LTDA. Bela Vista. 1995.

KIM, D. H. et al. **Lumbosacral and Pelvic Procedures**. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2013. 544 p.

KNOPLICH, J. **Enfermidades da coluna vertebral**. 3. ed. São Paulo: Robe Editorial, 2003. 535 p.

MACHADO, A. S. **Matemática**: Trigonometria e Progressões. 2. ed. São Paulo: Atual, 1986.

MACHADO, G. S. **Microsoft Kinect**: Crie Aplicações Interativas. São Paulo: Casa do Código, 2013. 181 p. Disponível em: <<http://www.casadocodigo.com.br/products/livro-kinect>>. Acesso em: 05 ago. 2014.

MAGEE, D. J. Lumbar Spine. In: MAGEE, D. J. **Orthopedic physical assessment**. ed. 6. St. Louis: Elsevier Inc., 2014. cap. 9. p. 550-648.

MAGENNIS, T. **LINQ to objects using C# 4.0**: using and extending LINQ to objects and parallel LINQ (PLINQ). Boston: Pearson Education, Inc, 2010. Disponível em: <http://bellasportsskole.dk/media/38600/linq_to_objects_using_c__4.0.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2015.

MATURANA, P. S. **Algoritmos de detecção de bordas implementados em FPGA**. 2010. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Automação, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2010. Disponível em: <<http://base.repositorio.unesp.br/handle/11449/87059>>. Acesso em: 16 nov. 2014.

MELO, R. S. et al. Análise postural da coluna vertebral: estudo comparativo entre surdos e ouvintes em idade escolar. **Fisioterapia em Movimento**, Curitiba, v. 25, n. 4, p. 803-810, out. 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-51502012000400013&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 27 out. 2014.

MIRANDA, R.; SCHOR, E.; GIRAO, M. J. B. C. Avaliação postural em mulheres com dor pélvica crônica. **Rev. Bras. Ginecol. Obstet.**, Rio de Janeiro, v. 31, n. 7, p. 353-360, jul. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-72032009000700006&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 27 out. 2014.

MILANI, G. B. **Correlação entre o ângulo de curvatura da lordose lombar e o grau de Lipodistrofia Ginóide (celulite) em mulheres assintomáticas**. 2008. Dissertação (Mestrado em Movimento, Postura e Ação Humana) - Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/5/5163/tde-10072008-151255/>>. Acesso em: 04 out. 2014.

MILANO, D.; HONORATO, L. B. **Visão Computacional**. 2010. Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2010. Disponível em: <http://www.ft.unicamp.br/liag/wp/monografias/monografias/2010_IA_FT_UNICAMP_visaoComputacional.pdf>. Acesso em: 06 nov. 2014.

MICROSOFT. **Kinect for Windows SDK**. 2014. Disponível em: <<https://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh855347.aspx>>. Acesso em: 10 de nov. 2014.

MOLZ, R. F. **Uma Metodologia para o Desenvolvimento de Aplicações de Visão Computacional utilizando um projeto conjunto de Hardware e Software**. 2001. 80 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

MSDN. **The Kinect for Windows v2 sensor and free SDK 2.0 public preview are here**. 2014. Disponível em: <<http://blogs.msdn.com/b/kinectforwindows/archive/2014/07/15/the-kinect-for-windows-v2-sensor-and-free-sdk-preview-are-here.aspx>>. Acesso em: 05 de jun. 2015.

NERY, P. B. **Análise da confiabilidade intra e interexaminador do software de avaliação postural – SAPO em escolares do município de Ribeirão Preto - SP**. 2009. 108 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2009.

NETO JÚNIOR, J; PASTRE, C. M.; MONTEIRO, H. L. Alterações posturais em atletas brasileiros do sexo masculino que participaram de provas de potência muscular em competições internacionais. **Rev Bras Med Esporte**, Niterói, v. 10, n. 3, p. 195-198, jun. 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1517-86922004000300009&script=sci_arttext>. Acesso em: 27 out. 2014.

NORIEGA, C. E. L. **Desenvolvimento de um programa computacional para avaliação postural de código aberto e gratuito**. 2012. Dissertação (Mestrado em Neurociências e Comportamento) - Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/47/47135/tde-15062012-105633/>>. Acesso em: 10 jun. 2015.

PÁDUA, E. M. M. O trabalho monográfico como iniciação à pesquisa científica. In: CARVALHO, M. C. M. **Construindo o saber: Fundamentos e técnicas de metodologia científica**. 15. ed. Campinas: Papirus, 1991. p. 147-175.

PEQUINI, S. M. **A evolução tecnológica da bicicleta e suas implicações ergonômicas para a máquina humana: Problemas na coluna vertebral x bicicletas dos tipos speede mountain bike**. 2000. 18 f. Tese (Doutorado) - Curso de Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Departamento de Tecnologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. Cap. 6.

PEZZAN, P. A. O. **Avaliação postural da coluna lombar, dos membros inferiores, e análise da força reação do solo em adolescentes usuárias de calçados de salto alto**[dissertação]. São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo; 2009 120p.

RIBEIRO, A. P. et al., Confiabilidade inter e intra-examinador da fotopodometria e intra-examinador da fotopodoscopia. **Rev. bras. fisioter.**, São Carlos, v. 10, n. 4, dez., 2006. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-35552006000400012&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 10 out. 2014

SACCO, I. C. N. et al. Confiabilidade da fotogrametria em relação a goniometria para avaliação postural de membros inferiores. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, v. 11, n. 5, p. 411-417, 2007.

SANTOS, L. M. et al. Avaliação postural por fotogrametria em pacientes com escoliose idiopática submetidos à artrodese: estudo piloto. **Fisioter. mov.** Curitiba. v. 25, n. 1, p. 165-173, mar. 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-51502012000100016&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 10 jun. 2015.

SOUZA JUNIOR, J. V. et al. Perfil dos desvios posturais da coluna vertebral em adolescentes de escolas públicas do município de Juazeiro do Norte – CE. **Fisioterapia e Pesquisa**, São Paulo, v. 18, n. 4, p.311-316, out. 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1809-29502011000400003>. Acesso em: 27 out. 2014.

SOUZA, J. A. et al. Biofotogrametria confiabilidade das medidas do protocolo do software para avaliação postural (SAPO). **Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum**, Florianópolis, v. 13, n. 4, p.299-305, ago. 2011. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-00372011000400009&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 10 maio 2015.

SUAIDE, A. L. **Desenvolvimento e validação de uma ferramenta computacional para mensuração das curvaturas da coluna vertebral**. 2008. 52 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Psicologia, Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/47/47135/tde-03042009-090940/pt-br.php>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

VENTURI, J. J. **Álgebra Vetorial e Geometria Analítica**. 9. ed. Curitiba: Artes Gráficas e Editora Unificado, 2009. 242 p. Disponível em: <<http://www.geometriaanalitica.com.br/livros/av.pdf>>. Acesso em: 16 nov. 2014.

VERDERI, Erica. **Programa de Educação Postural**. São Paulo: Phorte, 2001.

VEGTER, F. HAGE, J. J. Standardized facial photography of cleft patients: just fit the grid? **Cleft Palate-Craniofacial Journal**. v. 37, n. 5, p.435-440, 2000.

WATSON, A. W. S. Procedure for the production of high quality photographs suitable for the recording and evaluation of posture. **Rev. Fisioter. Univ. São Paulo**, v.5, n.1, p.20-6, jan./jun.,1998.

WATSON, A. W. MACDONNCHA, C. A reliable technique for the assessment of posture: assessment criteria for aspects of posture. **J Sports Med Phys Fitness**. v. 40, n. 3, p.260-270. 2000.