

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
Centro de Desenvolvimento Tecnológico  
Curso de Bacharelado em Engenharia de Computação



Trabalho de Conclusão de Curso

**Biometria do Caminhar Humano Utilizando o Kinect, Uma Comparação Entre as Duas Versões do Sensor Kinect**

**Rafael da Silva Dutra**

Pelotas, 2015

**Rafael da Silva Dutra**

**Biometria do Caminhar Humano Utilizando o Kinect, Uma Comparação Entre as  
Duas Versões do Sensor Kinect**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Centro de Desenvolvimento Tecnológico  
da Universidade Federal de Pelotas, como re-  
quisito parcial à obtenção do título de Bacha-  
rel em Engenharia de Computação

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Matsumura Araujo

Pelotas, 2015

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas  
Catalogação na Publicação

D978b Dutra, Rafael da Silva

Biometria do caminhar humano utilizando o Kinect,  
uma comparação entre as duas versões do sensor Kinect /  
Rafael da Silva Dutra ; Ricardo Matsumura Araújo,  
orientador. — Pelotas, 2015.

41 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em  
Engenharia de Computação) — Centro de Desenvolvimento  
Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, 2015.

1. Kinect. 2. Gait. 3. Reconhecimento. 4. KNN. I. Araújo,  
Ricardo Matsumura, orient. II. Título.

CDD : 005

Rafael da Silva Dutra

**Biometria do Caminhar Humano Utilizando o Kinect, Uma Comparaçāo Entre as Duas Versões do Sensor Kinect**

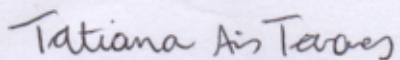
Trabalho de Conclusão de Curso aprovado, como requisito parcial, para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Computação, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 07 de Dezembro de 2015

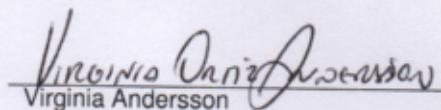
Banca Examinadora:



Prof. Ricardo Matsumura Araújo – Orientador



Profa. Tatiana Aires Tavares



Virginia Andersson

**Para os meus pais, Jacqueline e Júlio, e o meu irmão, Fábio.**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a minha família, meus pais, Jacqueline da Silva Dutra e Júlio César Prestes Dutra, meu irmão Fábio da Silva Dutra, meus padrinhos e madrinhas e muitos outros familiares, que estiveram sempre ao meu lado, fornecendo apoio, carinho e incentivo durante essa longa jornada.

Agradeço aos meus professores por todo o ensinamento transmitido, mas em especial ao tutor do grupo PET, Leomar Soares da Rosa Junior, e ao meu orientador, Ricardo Matsumura Araujo, sem o empenho, dedicação e um pouco de paciência de vocês eu não seria o profissional que estou me tornando.

Agradeço aos meu amigos, colegas de faculdade e colegas de trabalho do grupo PET Computação, por toda a ajuda, companheirismo e pelos ótimos momentos que passamos nesses cinco anos.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

**Beyond my pain beyond my my fear  
for no on will i bend my Knee  
My Heart is fire, my mind is clear  
My spirit is a roaring sea**  
— ZEN PENCILS

## **RESUMO**

DUTRA, Rafael da Silva. **Biometria do Caminhar Humano Utilizando o Kinect, Uma Comparação Entre as Duas Versões do Sensor Kinect.** 2015. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Computação) – Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015.

O reconhecimento pelo caminhar, é um tipo de biometria que vem sendo amplamente trabalhada no meio acadêmico nas últimas décadas. Isso se deve ao fato de ser uma das técnicas de biometria menos invasivas existentes, senão a menor. Dentre as diversas abordagens empregadas na obtenção dos dados utilizados no reconhecimento de um caminhar, a utilização do sensor Kinect para a captura e obtenção de um modelo do corpo humano, é uma das técnicas que mais vem sendo utilizada.

Este trabalho tem como objetivo fazer uma comparação entre as duas versões do sensor Microsoft Kinect, quando utilizados no reconhecimento do caminhar humano. Será mostrado as principais características e diferenças de cada sensor, bem como as suas vantagens e desvantagens. Mostraremos também que em quase todos os testes realizados neste trabalho, a primeira versão do sensor Kinect obteve melhores resultados. Será explorado o porquê desses resultados, tentando explicar o motivo da melhora do hardware e software da segunda versão do sensor não refletir em uma melhora nos resultados finais. Para isso será fornecido uma rápida revisão bibliográfica sobre o caminhar humano e as suas características, sobre as duas versões do sensor Kinect, sobre a biometria e o seu uso no reconhecimento de um caminhar e como esses tópicos se conectam entre si.

**Palavras-chave:** Kinect, Gait, Reconhecimento, KNN.

## **ABSTRACT**

DUTRA, Rafael da Silva. **Biometrics of Human Gait Using Kinect, A Comparison Between Both Versions of Kinect sensor.** 2015. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Computação) – Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015.

Gait recognition is a type of biometric that has been widely worked in academic circles in recent decades. This is because the gait is one of the least invasive biometrics existing techniques, if not the lower. Among the various approaches that are employed to obtain the data used in the recognition of a walk, the use of Kinect sensor to capture and obtaining a model of the human body, is one of the techniques that has been used most.

This paper aims to make a comparison between two versions of the Microsoft Kinect motion sensor, when used in the recognition of human walking. It will display the main features and differences of each sensor, as well as its advantages and disadvantages. We will also show that in almost every test performed in this study, the first version of the Kinect sensor produced better results. We explore why these results, trying to explain the hardware and software improves the reason the second version of the sensor does not reflect an improvement in final results. For it, will be provided a quick bibliographic review of the human walking and its features, on both versions of the Kinect sensor, on biometrics and its use in the recognition of a walk and how these topics are connected with each other.

**Keywords:** Kinect, Gait, recognition, KNN.

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1	Ciclo do caminhar humano. (ANDERSSON, 2012 apud VAUGHAN:1992) . . . . .	16
Figura 2	Ciclo do caminhar humano detalhado, adaptado de (ANDERSSON, 2012), (CUNADO; NIXON; CARTER, 2003) . . . . .	17
Figura 3	Planos do corpo humano, (a) Sagital, (b) Frontal e (c) Transversal respectivamente, adaptado de (VAUGHAN; DAVIS; O'CONNOR, 1992), (ACTIVE, 2011) . . . . .	18
Figura 4	Comprimento e largura da passada, adaptado de (ANDERSSON, 2012) . . . . .	19
Figura 5	Sensor Kinect v1 (Microsoft Corporation, 2013) . . . . .	21
Figura 6	Sensor Kinect v2 (Microsoft Corporation, 2012). . . . .	21
Figura 7	Sensor Kinect v2 detalhado (VIRTUAL ACADEMY, 2014). . . . .	22
Figura 8	Campo de visão dos sensores Kinect, (a) v1 e (b) v2 (Microsoft Corporation, 2013, 2012). . . . .	23
Figura 9	Kinect Studio v2 (VIRTUAL ACADEMY, 2014) . . . . .	24
Figura 10	Pipeline da análise do caminhar humano com o uso do Kinect (ANDERSSON, 2012). . . . .	25
Figura 11	Juntas do corpo reconhecida pelas duas versões do Kinect, (a) v1 e (b) v2, (MICROSOFT, 2014) e (MICROSOFT, 2014). . . . .	26
Figura 12	Campo de visão dos sensores Kinect (Microsoft Corporation, 2012). . . . .	27
Figura 13	Método de captura. . . . .	28
Figura 14	Gráficos de comparação entre os dados filtrados e não filtrados para o grupo de dados Antropometria I, (a) Kinect v1 e (b) Kinect v2. . . . .	33
Figura 15	Comparação entre os grupos de dados, (a) Antropometria I, (b) Antropometria II, (c) Antropometria III e (d) Atributos do Caminhar. . . . .	34
Figura 16	Efeito da inferência de alguns membros do corpo humano durante uma caminhada. . . . .	35
Figura 17	Comparação entre as duas versões do sensor Kinect, (a) Antropometria I,v(b) Antropometria II, (c) Antropometria III e (d) Atributos do Caminhar. . . . .	36

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1	Tabela de comparação entre os dois sensores de movimento Kinect (VIRTUAL ACADEMY, 2014) . . . . .	23
Tabela 2	Atributos de antropometria utilizados no grupo Antropometria I para o Kinect v1. . . . .	31
Tabela 3	Atributos de antropometria utilizados no grupo Antropometria I para o Kinect v2. . . . .	31
Tabela 4	Atributos de antropometria utilizados no grupo Antropometria II para o Kinect v1 e v2. . . . .	32
Tabela 5	Atributos de antropometria utilizados no grupo Antropometria III para o Kinect v1 e v2. . . . .	32
Tabela 6	Atributos do Caminhar humano utilizados tanto para o Kinect v1 como para o Kinect v2. . . . .	33

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

PDI	Processamento Digital de Imagens
RGB	Red-Green-Blue
SDK	Software Development Kit
API	Application Programmable Interface
KNN	K-Nearest Neighbor
SVM	Support Vector Machines
MLP	Multi-Layer Perception
LFRG	Leg Rise From Ground
VGB	Visual Gesture Builder

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO . . . . .</b>	<b>13</b>
<b>2 O CAMINHAR HUMANO . . . . .</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Descrição do Ciclo Completo de um Caminhar . . . . .</b>	<b>17</b>
<b>2.2 Componentes do Caminhar Humano . . . . .</b>	<b>18</b>
<b>2.2.1 Parâmetros de Movimento . . . . .</b>	<b>18</b>
<b>3 SENSOR MICROSOFT KINECT . . . . .</b>	<b>21</b>
<b>3.1 Hardware . . . . .</b>	<b>22</b>
<b>3.2 Software Development Kit . . . . .</b>	<b>24</b>
<b>4 O SENSOR KINECT E A SUA UTILIZAÇÃO NA IDENTIFICAÇÃO DO CAMINHAR HUMANO . . . . .</b>	<b>25</b>
<b>4.1 Limitações do Sensor . . . . .</b>	<b>26</b>
<b>4.2 Método de Captura . . . . .</b>	<b>27</b>
<b>5 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO . . . . .</b>	<b>29</b>
<b>5.1 Metodologia . . . . .</b>	<b>29</b>
<b>5.2 Classificador . . . . .</b>	<b>29</b>
<b>5.3 Coleta de Dados . . . . .</b>	<b>30</b>
<b>5.3.1 Antropometria I . . . . .</b>	<b>31</b>
<b>5.3.2 Antropometria II . . . . .</b>	<b>31</b>
<b>5.3.3 Antropometria III . . . . .</b>	<b>32</b>
<b>5.3.4 Atributos do Caminhar . . . . .</b>	<b>32</b>
<b>5.4 Comparação Entre os dois Sensores Kinect . . . . .</b>	<b>34</b>
<b>6 CONCLUSÕES . . . . .</b>	<b>38</b>
<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>40</b>
<b>ANEXO A DADOS DAS COLETAS . . . . .</b>	<b>42</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A habilidade que os seres humanos possuem para identificar pessoas é algo intrínseco a todos. Desde os primórdios da nossa civilização as pessoas utilizam, desde o nascimento, características físicas, biológicas e comportamentais presentes na fisiologia do corpo humano para reconhecer uns aos outros (ANDERSSON, 2012). Muitas vezes, sem perceber, utilizamos essas características no nosso dia a dia para diferenciar aqueles indivíduos conhecidos dos desconhecidos. A ciência que mede, estuda e analisa essas características do corpo humano é chamada de biometria, palavra que vem do grego bio (vida) + metria (medida).

Existem evidências de que certos atributos que nos diferenciam uns dos outros vêm sendo utilizado como uma forma de identificação há milhares de anos. Entretanto, com o passar do tempo e o rápido avanço populacional que ocorreu devido à revolução industrial, novos meios de identificação se fizeram necessários. Em meados dos anos 1800s, como uma resposta ao rápido crescimento das cidades, sistemas unificados para o armazenamento de informações pessoais começaram a ser implementados. A primeira abordagem utilizada como uma forma de identificação pessoal foi o sistema criado por Alphonse Bertillon, denominado antropometria judicial, muito conhecido como Bertillonagem. A segunda abordagem foi uma aplicação mais formal da impressão digital como uma forma de identificação pessoal. Sir Edward Henry, inspetor de polícia geral de Begal, Índia, implementou o sistema de coleta de impressões digitais. Em cima deste sistema, Azizul Haque desenvolveu uma técnica mais robusta para classificação e armazenagem das informações dos indivíduos, de modo que fosse possível realizar uma busca de forma fácil e rápida. Este sistema, que na época foi denominado Sistema de Henry, e suas variações ainda são muito utilizados nos dias atuais (MCMAHON, 2005).

Com o passar dos anos e com o advento de novas tecnologias, novas técnicas para a identificação pessoal começaram a surgir, e a biometria se consolidou-se como uma ciência. Em 1936, o oftalmologista Frank Burch propôs a utilização da íris humana como uma forma de identificação. Na década de 60 houve muitos avanços envolvendo diversos ramos da biometria, como a identificação pela impressão digital, pela

face, pela assinatura, dentre outros. Na década seguinte surgiram os primeiros trabalhos que envolviam o caminhar humano e a possibilidade de utilizá-lo como uma forma de identificação pessoal (JOHANSSON, 1973), (CUTTING; KOZLOWSKI, 1977). Nos anos que se passaram, essas e diversas outras técnicas de biometria como reconhecimento por voz, palma da mão, assinatura, DNA, veias, olhos, caminhar, dentre muitas outras; foram desenvolvidas, aprimoradas e muitas colocadas em prática.

Com a principal área de aplicação de grande parte dessas técnicas sendo a de segurança, é desejável que esses sistemas obtenham as informações para identificação de um indivíduo de forma discreta e o menos invasiva possível. Tal característica não ocorre na grande maioria dos sistemas de biometria utilizados atualmente. Em técnicas de biometria como impressão digital, voz, face, íris, DNA, é necessário um contato direto ou muito próximo com o indivíduo em questão, possibilitando assim a coleta de certos dados necessários para que seja possível realizar a identificação de um indivíduo. Entretanto, com a biometria pelo caminhar é possível realizar as coleta de dados de uma forma discreta e não invasiva, técnica cobiçada por sistemas de biometria atuais. Utilizando esta técnica é possível obter todas as informações necessárias para a identificação de um indivíduo a uma certa distância, da forma menos invasiva possível e até mesmo sem o seu pré-consentimento (BOULGOURIS; HATZINAKOS; PLATANIOTIS, 2005).

Como mencionado anteriormente, o caminhar humano começou a ser estudado mais detalhadamente como uma forma de identificação pessoal na década de 70, porém, não exclusivamente com este único objetivo. Em Kozlowski e Cutting (1977) foi estudado também a possibilidade de utilizar o caminhar como uma forma de reconhecimento de gênero, que não é abrangido neste trabalho. Entretanto, pelo fato desta ser uma técnica complexa de se trabalhar pelos diversos parâmetros que devem ser levados em conta (parâmetros esses que seriam melhor explicados no decorrer do trabalho), apenas nas duas últimas décadas com o advento de novas tecnologias, tanto de hardware quanto de software, o caminhar humano pode ser trabalhado de maneira adequada. Ainda sim, até mesmo nos dias atuais, os pesquisadores esbarram em dois grandes problemas quando se trata do caminhar humano e a sua utilização como uma forma de biometria. O primeiro problema está relacionado com o modo em que os dados serão coletados, isto é, como será realizada a captura de um caminhar, e, posteriormente, como extrair os componentes<sup>1</sup> desse caminhar. O segundo problema se concentra na forma como esses dados vão ser trabalhados. O desenvolvimento desse trabalho, dentre outros objetivos, visa oferecer soluções adequadas para os problemas citados acima.

Grande parte dos problemas que envolvem a captura e extração dos compo-

---

<sup>1</sup>A palavra componentes nesse texto se refere a características de um indivíduo e o seu caminhar, que vão ser melhor explicadas no próximo capítulo.

tes de um caminhar estão concentradas na forma como eram realizadas as coletas dos caminhares para análise. Essas capturas são realizadas, em grande parte, utilizando uma câmera, então se faz necessário a aplicação de algumas técnicas de PDI (Processamento Digital de Imagens) para o processamento dos frames dos vídeos capturados. Felizmente, esse problema foi parcialmente resolvido com o lançamento do sensor de movimento Microsoft Kinect, desenvolvido inicialmente para o console Xbox 360. Utilizando esse sensor foi possível simplificar todas as etapas entre o processo de captura de um caminhar até a extração dos componentes do mesmo em um único passo. No capítulo 3 será melhor explicado o funcionamento do sensor Kinect e a sua importância para este trabalho.

As dificuldades que envolvem a análise dos dados se divide em dois grupos. O primeiro grupo diz respeito aos componentes gerados durante um caminhar e a relevância de cada um no reconhecimento e classificação de um caminhar. O caminhar humano gera um amplo conjunto de componentes, mas nem todos são relevantes para a análise. O problema aqui está em encontrar quais componentes desse amplo conjunto são realmente relevantes. O segundo problema está relacionado com a abordagem que será utilizada na análise e geração dos padrões e está diretamente ligada ao problema anteriormente citado. Inicialmente, é necessário compreender o tipo de dado que se vai trabalhar, para posteriormente escolher a ferramenta de análise que melhor se adapte a esses dados.

Neste capítulo foi feita uma introdução sobre o assunto que será trabalhado nesse TCC. Foi apresentado uma breve introdução sobre a biometria e a sua aplicação no caminhar e foi visto também as motivações do porquê deste trabalho e os principais objetivos se almeja alcançar.

No capítulo 2 será descrito o caminhar humano, as suas características e componentes. No capítulo 3, Sensor Microsoft Kinect, será feito uma comparação entre os dois sensores, destacando as suas principais diferenças e explicando como eles podem nos ajudar na coleta dos caminhares. No capítulo 4, O Sensor Kinect e a sua Utilização na Identificação do Caminhar Humano, será feita ligação entre o caminhar humano e o sensor Kinect, explicando detalhadamente o porquê da sua utilização no reconhecimento do caminhar humano.

## 2 O CAMINHAR HUMANO

O caminhar humano pode ser descrito como o simples ato de se deslocar de um ponto a outro utilizando as pernas ou, segundo Enoka et. al. (1988), como a conversão de uma ideia, que parte do centro supra espinhal, em um padrão de atividades musculares que vão gerar o caminhar. Mas de uma forma mais geral e completa, como foi descrito por Vaughan et al. (1999) em seu livro “Dynamics of Human Gait”, o ato de caminhar envolve dois requisitos base:

1. O movimento periódico de cada pé de uma posição de suporte para a próxima e
2. Forças de reação suficientes do solo, aplicadas ao pé, para sustentar o corpo.

Esse movimento periódico gerado pelas pernas de se mover de uma posição de suporte para a próxima, vai descrever qualquer forma de caminhar bípede, sendo também a essência da natureza do caminhar cíclico humano (VAUGHAN; DAVIS; O'CONNOR, 1992). Se visualizamos ou apenas imaginarmos um indivíduo caminhando, é possível perceber esse padrão cíclico que se forma durante o seu caminhar. Padrão este que se mantém constante durante o caminhar de um indivíduo, até alguma coisa ou alguém interfira no mesmo. A Figura 1 demonstra o ciclo de um caminhar partindo do contato inicial de um calcanhar no solo, até o próximo contato do mesmo calcanhar.

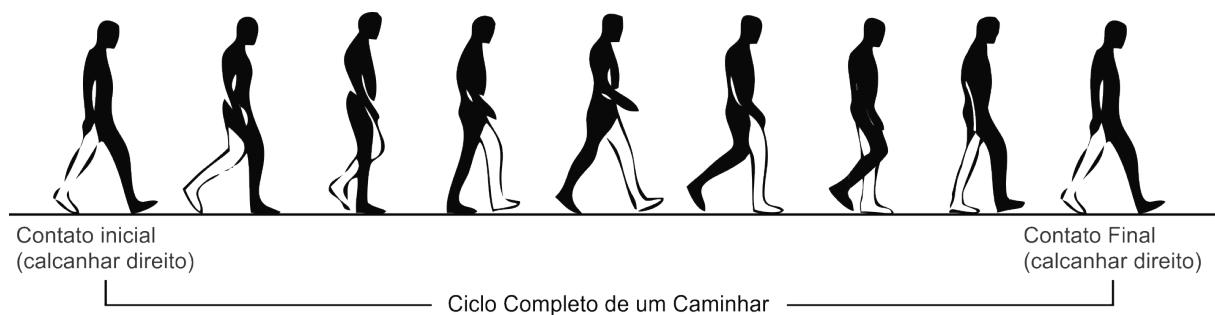


Figura 1: Ciclo do caminhar humano. (ANDERSSON, 2012 apud VAUGHAN:1992)

## 2.1 Descrição do Ciclo Completo de um Caminhar

Murray et. al (1964) descreveu o ciclo de um caminhar como o intervalo de tempo entre as sucessivas instâncias de contato inicial de um pé no solo(calcanhar), até o próximo contato do mesmo pé no solo novamente. Durante esse ciclo do caminhar cada uma das pernas assumirá um comportamento distinto. Existem duas fases que uma perna pode apresentar durante o caminhar, fase de postura ou *stance phase*, quando o pé que está se observando entra em contato com o solo, e fase de balanço ou *swing phase*, quando o pé oposto se encontra distante do solo e avançando para a sua próxima posição (ANDERSSON, 2012).

Como foi mencionado anteriormente, o ciclo de um caminhar é iniciado quando o calcanhar de um dos pés (o calcanhar direito por exemplo) toca no solo marcando assim o início a fase de postura desse pé,  $t_0$ . Logo em seguida, o tornozelo é flexionado de modo que o pé em questão fique completamente reto no solo, transferindo todo o peso do corpo para ele,  $t_1$ . Quando o calcanhar da perna oposta (esquerda) encostar no solo,  $t_2$ , a perna direita entra fase de balanço, transferindo assim todo o peso do corpo para a perna esquerda em  $t_3$ , ultrapassada pela perna direita em  $t_4$  e terminando o ciclo do caminhar em  $t_5$ , quando ocorre novamente o contato do calcanhar direito no chão. A Figura 2 ilustra todas as etapas do ciclo de um caminhar, destacando as cinco principais que foram citadas anteriormente. Vide (VAUGHAN; DAVIS; O'CONNOR, 1992) para mais informações sobre as etapas intermediárias do caminhar.

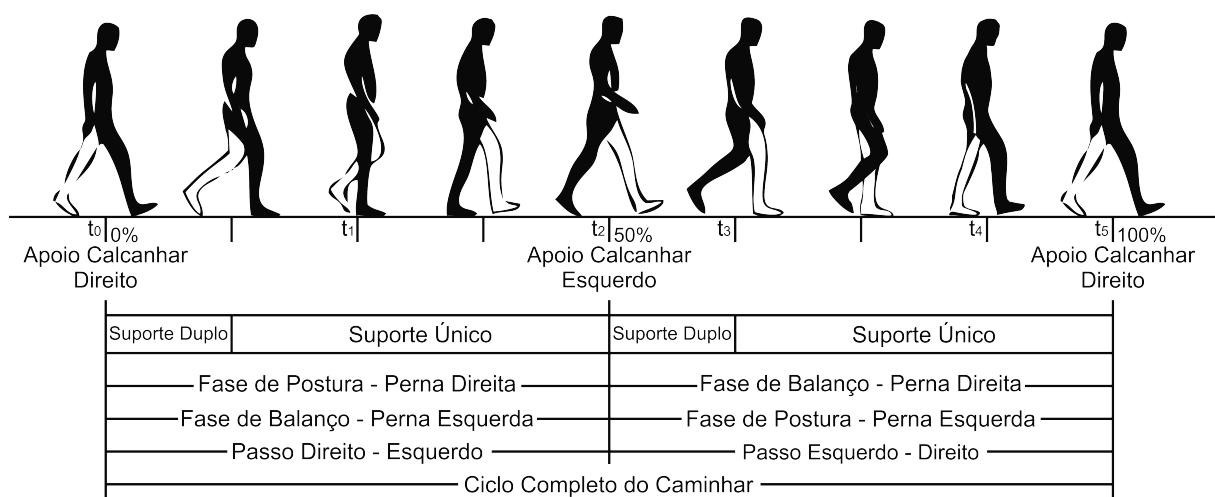


Figura 2: Ciclo do caminhar humano detalhado, adaptado de (ANDERSSON, 2012), (CUNADO; NIXON; CARTER, 2003)

## 2.2 Componentes do Caminhar Humano

O caminhar humano possui um amplo conjunto de componentes distintos entre si que podem ser mensuráveis. Como foi descrito por Murray et al. (1964) o caminhar humano gerava um conjunto aproximado de 20 componentes distintos, porém, com a evolução atual das pesquisas em biometria através do caminhar e o avanço das técnicas em visão computacional (ANDERSSON, 2012), foi possível criar novos componentes passíveis de mensuração, como LFRG (Leg Rise From Ground) (GHOSH; BHATTACHARJEE, 2015), elevação do joelho e calcanhar (ZHANG; VOGLER; METAXAS, 2004), dentre outros, e utilizar alguns que anteriormente eram de difícil aquisição e/ou mensuração.

Todos esses componentes podem ser extraídos de um dos 3 planos do corpo humano, como é mostrado na Figura 3. Porém, existem certos componentes que só são passíveis de extração a partir de um plano específico.

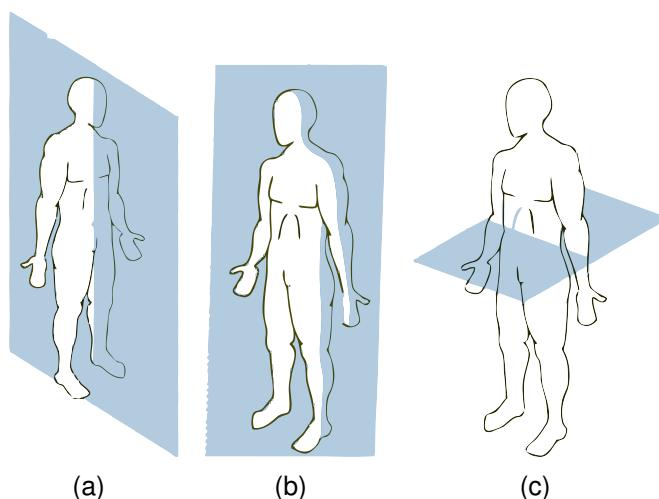


Figura 3: Planos do corpo humano, (a) Sagital, (b) Frontal e (c) Transversal respectivamente, adaptado de (VAUGHAN; DAVIS; O'CONNOR, 1992), (ACTIVE, 2011)

Nas subseções a seguir serão apresentados os principais componentes do um caminhar.

### 2.2.1 Parâmetros de Movimento

Os parâmetros de movimento podem ser temporais, espaciais ou cinemáticos. Os parâmetros temporais e espaciais são todas as características do ciclo de um caminhar que são medidas em função do tempo, como comprimento da passada, tempo do ciclo e velocidade, que vão prover uma descrição básica do caminhar (YOO; NIXON, 2011).

Já os parâmetros cinemáticos, como foi descrito por Yoo, Nixon, et al. (2011), estão associados aos ângulos formados entre segmentos do corpo e pela forma como eles se relacionam com as fases do ciclo do caminhar (ANDERSSON, 2012).

### 2.2.1.1 Parâmetros Temporais e Espaciais

Alguns exemplos de parâmetros temporais e espaciais são o tempo do ciclo é determinado pelo período do caminhar, número de frames no ciclo completo de um caminhar, pelo *frame rate* da captura do vídeo, Equação 1. A velocidade é determinada pela razão entre o tamanho da passada, distância percorrida em um ciclo, pelo tempo de cada ciclo, Equação 2 (YOO; NIXON, 2011).

$$\text{cycle.time}(s) = \frac{\text{gait.period(frames)}}{\text{frame.rate(frames/s)}} \quad (1)$$

$$\text{speed}(m/s) = \frac{\text{stride.length}(m)}{\text{cycle.time}(s)} \quad (2)$$

Outro conjunto de parâmetros relevantes são aqueles provenientes do comprimento da passada de um indivíduo, descritos detalhadamente abaixo:

1. O comprimento da passada, distância total percorrida por uma pessoa durante um ciclo do caminhar, que pode ser medida através da distância entre os sucessivos toques de um mesmo calcanhar no chão;
2. A largura do passo, a distância entre o centro do calcanhar de cada pé e

De acordo com Vaughan et al.(1999), e como é possível observar mais detalhadamente na Figura 3, somente as informações geradas por um conjunto de passos nos prove diversos parâmetros úteis para análise.



Figura 4: Comprimento e largura da passada, adaptado de (ANDERSSON, 2012)

### 2.2.1.2 Parâmetros Cinemáticos

Como foi comentado anteriormente, os parâmetros cinemáticos são normalmente caracterizados pelos ângulos das juntas que se formam entre os segmentos do corpo durante o ciclo do caminhar. Vide (ANDERSSON, 2012) ou (MURRAY; DROUGHT; KORY, 1964) para mais informações sobre os parâmetros cinemáticos e o seu comportamento em cada etapa do ciclo de um caminhar. Entretanto, é importante ressaltar que nem todos os ângulos entre dois segmentos do corpo são relevantes. Como certos componentes do corpo não possuem um padrão cíclico durante um caminhar, é

necessário selecionar aqueles que, de alguma forma, consigam expressar um padrão ao longo de uma caminhada.

### 3 SENSOR MICROSOFT KINECT

O sensor de movimento Microsoft Kinect, inicialmente desenvolvido para o console Xbox 360, teve a sua primeira versão lançada no dia 4 de Novembro de 2010. O brasileiro Alex Kipman foi o idealizador do dispositivo, batizando o nome do projeto como *Project Natal*. Este sensor foi desenvolvido com o objetivo principal de revolucionar a maneira como as pessoas interagiam com os seus jogos, ampliando a sua experiência durante as sessões, mas acabou por revolucionar muito mais do que apenas o mundo dos *games* (ANDERSSON, 2012).



Figura 5: Sensor Kinect v1 (Microsoft Corporation, 2013)

Atualmente o sensor Kinect se encontra na sua segunda versão, Figura 6, que foi lançado no dia 22 de Novembro de 2013 em conjunto com o novo console da Microsoft, o Xbox One. Já o Kinect para Windows foi lançado em meados de 2014, em conjunto com o SDK (*Software Development Kit*) para o Windows.



Figura 6: Sensor Kinect v2 (Microsoft Corporation, 2012).

Logo após o lançamento da primeira versão do sensor, diversas pessoas, hackers, entusiastas e pesquisadores, viram a imenso potencial que esse dispositivo tinha a oferecer não só ao mundo dos games. A própria Microsoft, idealizadora do dispositivo, percebeu isso e alguns meses após o lançamento do sensor, disponibilizou um SDK para os seus usuários, juntamente com os adaptadores necessários para o dispositivo.

O SDK, em conjunto com o adaptador, forneceu as ferramentas necessárias para que os usuários do sensor Kinect conseguissem liga-lo ao computador, facilitando assim o desenvolvimento de novas pesquisas, aplicativos e softwares. Durante este imenso avanço na tecnologia de visão computacional, diversos pesquisadores perceberam o seu alto nível de aplicação se empregado a biometria pelo caminhar. Deste então um grande número de pessoas começaram a trabalhar com o reconhecimento do caminhar utilizando o sensor Kinect, que veio a aumentar ainda mais após o lançamento da segunda versão.

### 3.1 Hardware

O sensor de movimento Kinect, seja a sua primeira versão ou a segunda, trabalham de forma similar. Possuem o mesmo propósito, com funcionalidades semelhantes, mas com algumas diferenças no hardware e no seu SDK. A segunda versão recebeu inúmeras melhorias em comparação com o seu predecessor. Melhorias essas que chamaram a atenção de diversos profissionais que já trabalhavam com a primeira versão do dispositivo ou que tinham interesse em começar a trabalhar. A Figura 7 demonstra todos os componentes do Kinect de uma forma mais detalhada.

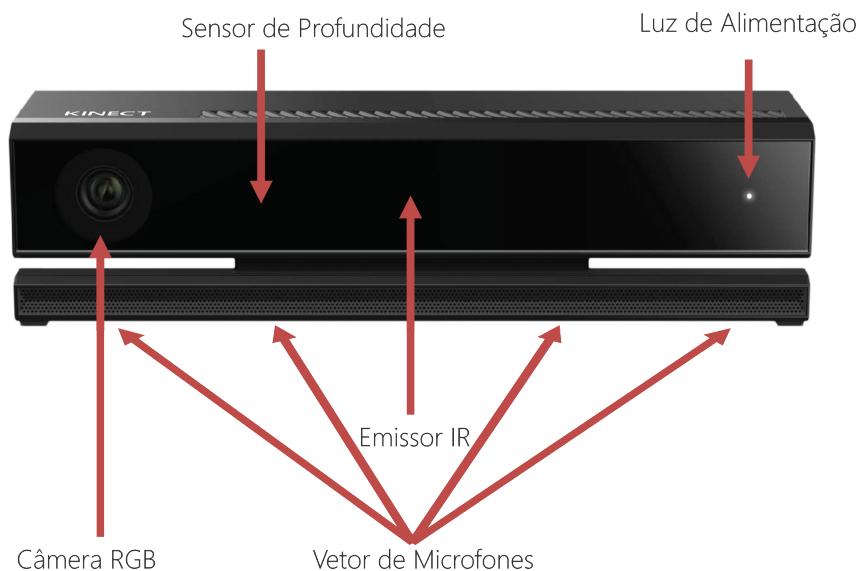


Figura 7: Sensor Kinect v2 detalhado (VIRTUAL ACADEMY, 2014).

A segunda versão do sensor, assim como a primeira, provê dados brutos dos frames capturados pela sua câmera RGB (red-green-blue) e câmera de profundidade,

além de um conjunto de quatro microfones em sua base.

A versão dois do sensor recebeu uma nova câmera RGB com uma resolução de 1920x1080, um avanço significativo se comparado com o seu predecessor, que possui uma resolução de apenas 640x480. A sua câmera de profundidade também sofreu um pequeno upgrade, passando de 320x240, na primeira versão, para 512x424 na segunda. A qualidade da câmera de profundidade do novo sensor foi aumentada em três vezes, conseguindo encontrar objetos a uma distância de até oito metros (Microsoft Virtual Academy, 2014).

	Kinect v1	Kinect v2
Câmera RGB	640x480	1920x1080
Câmera de Profundidade	320x240	512x424
Alcance Mínimo	0.4m	0.5m
Alcance Máximo	4.5m	4.5m
Campo de Visão Horizontal	57 graus	70 graus
Campo de Visão Vertical	43 graus	60 graus
Juntas do Esqueleto	20 juntas	25 juntas
Rastreamento de Esqueleto	2	6

Tabela 1: Tabela de comparação entre os dois sensores de movimento Kinect (VIRTUAL ACADEMY, 2014).

Como é possível ver na Tabela 1 e na Figura 8, foram feitas algumas melhorias no campo de visão horizontal e vertical do sensor, permitindo assim ampliá-lo significativamente. Para atingir um campo de visão específico, o Kinect 360 possui um motor na sua base que o movimenta em um campo de visão vertical. Diferentemente do seu predecessor, o sensor Kinect one, com o seu campo de visão mais amplo, não possui tal motor.

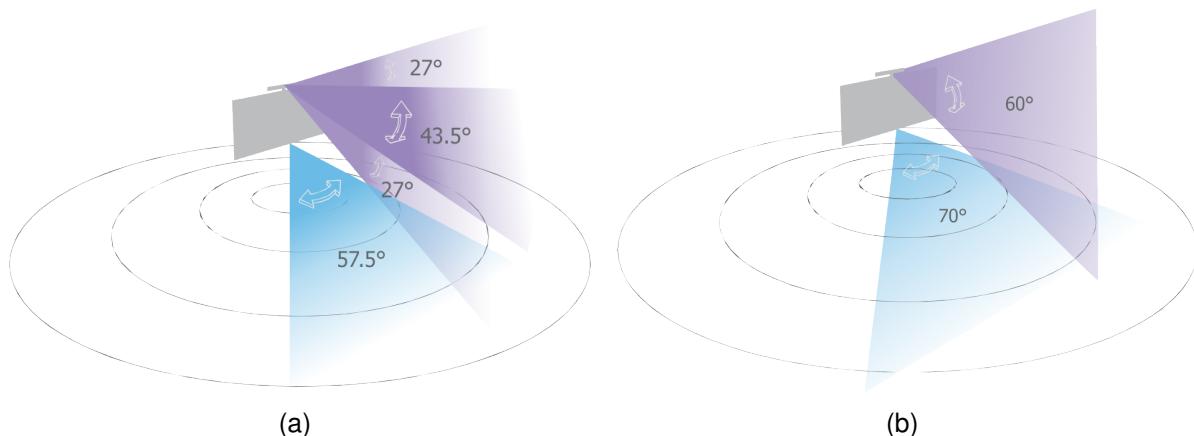


Figura 8: Campo de visão dos sensores Kinect, (a) v1 e (b) v2 (Microsoft Corporation, 2013, 2012).

### 3.2 Software Development Kit

O SDK, por sua vez, nos fornece todos os drives necessários para conectar o sensor Kinect em um computador pessoal. Além disso, ele possui diversos conteúdos, como códigos, APIs, ferramentas de desenvolvimento, interface com o dispositivo, dentre outros. Tudo isso para auxiliar os desenvolvedores na construção de melhores aplicações em um prazo de tempo menor (Microsoft Corporation, 2012).

O novo SDK, desenvolvido para a segunda versão do sensor Kinect, trouxe um amplo número de novas ferramentas para se trabalhar com o sensor Kinect. Esse novo conjunto de ferramentas auxiliam no desenvolvimento de novos projetos com aplicações base pré prontas, ferramentas para análise dos vídeos e até mesmo um detector de gestos, Visual Gesture Builder (VGB) (MICROSOFT, 2014). A Figura 9 mostra uma das interfaces disponíveis no novo SDK. Vide (VIRTUAL ACADEMY, 2014) para mais informações.

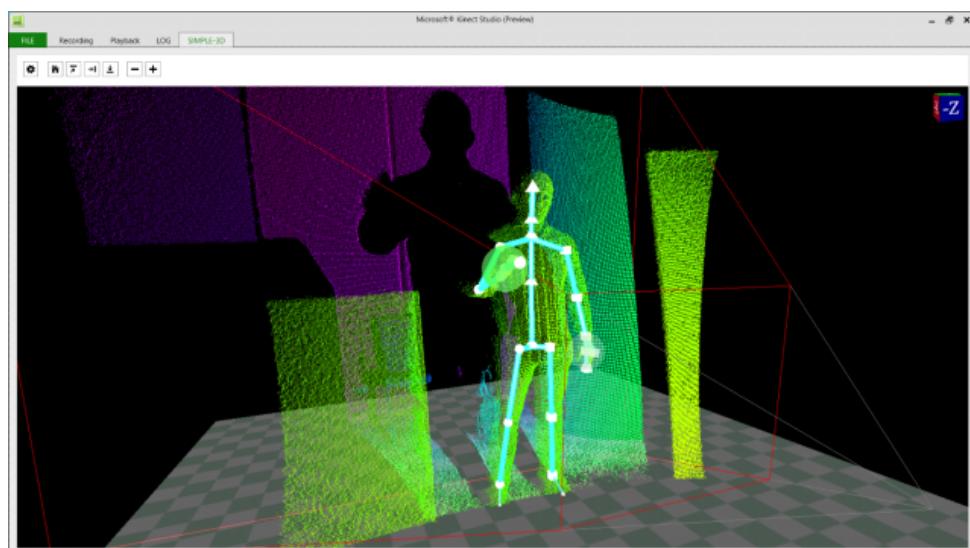


Figura 9: Kinect Studio v2 (VIRTUAL ACADEMY, 2014)

## 4 O SENSOR KINECT E A SUA UTILIZAÇÃO NA IDENTIFICAÇÃO DO CAMINHAR HUMANO

Até este momento, dois tópicos foram discutidos. O caminhar humano, onde foi abordado a descrição do caminhar de uma forma mais detalhada e os seus componentes, e o sensor de movimento Kinect. Mas o que liga esses dois tópicos? Qual o motivo que atraiu tantas pessoas a utilizar esse dispositivo na biometria pelo caminhar? Qual é o seu diferencial, em relação a outras abordagens, que foi tão chamativo?

O principal atrativo desse dispositivo está na forma como ele captura e trabalha com as informações de uma pessoa que se encontra no raio de alcance do sensor. Como é possível ver na Figura 10, o sensor Kinect consegue realizar a captura, processamento da imagem e extração das informações do caminhar de uma pessoal, em tempo real, o que acaba por facilitar uma parte significativa do processo de análise do caminhar (ANDERSSON, 2012).



Figura 10: Pipeline da análise do caminhar humano com o uso do Kinect (ANDERSSON, 2012).

O sensor Kinect, versão dois, consegue detectar o movimento completo de um corpo humano, bem como pequenos gestos da mão, com até 6 pessoas simultaneamente, para um total de 25 juntas do corpo por pessoa. Na Figura 11 é possível ver

todas as 25 juntas do corpo detectadas pela segunda versão do sensor, bem como a identificação de cada uma delas, comparadas com as 20 juntas detectadas pelo seu predecessor.

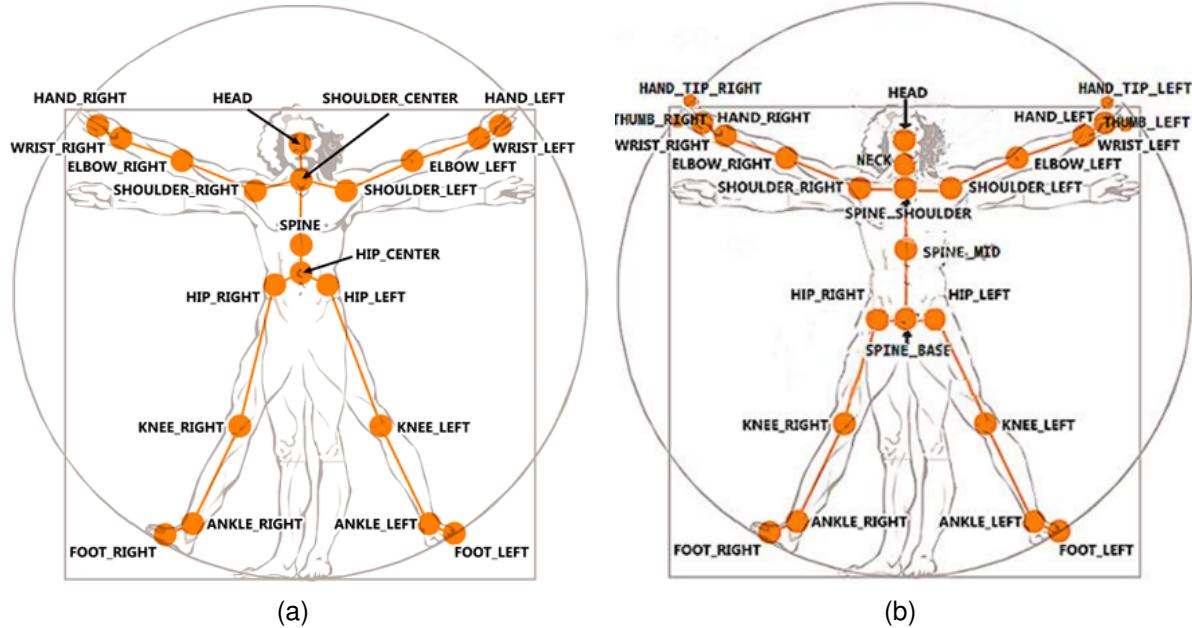


Figura 11: Juntas do corpo reconhecida pelas duas versões do Kinect, (a) v1 e (b) v2, (MICROSOFT, 2014) e (MICROSOFT, 2014).

## 4.1 Limitações do Sensor

Apesar de todas as qualidades dos sensores Kinect e do seu imenso poder de processamento, ele não foi desenvolvido com o propósito específico de atender todas as necessidades da biometria pelo caminhar, o que pode trazer certas desvantagens. Por este motivo, nos deparamos com algumas dificuldades na hora da coleta dos dados. Mesmo com a área de captura dos sensores sendo relativamente amplas, é extremamente difícil coletar uma vasta quantidade de dados de um indivíduo caminhando, com o sensor alocado estaticamente.

As limitações físicas do sensor se resumem a tudo que ele consegue ver, e como é possível observar na Figura 8 e na Figura 12, a distância máxima em que o Kinect consegue enxergar uma pessoa, tanto para a primeira versão, como para a segunda, gira em torno de 4.5m, com um angulo de visão entre 53 e 70 graus (Microsoft Corporation, 2012).

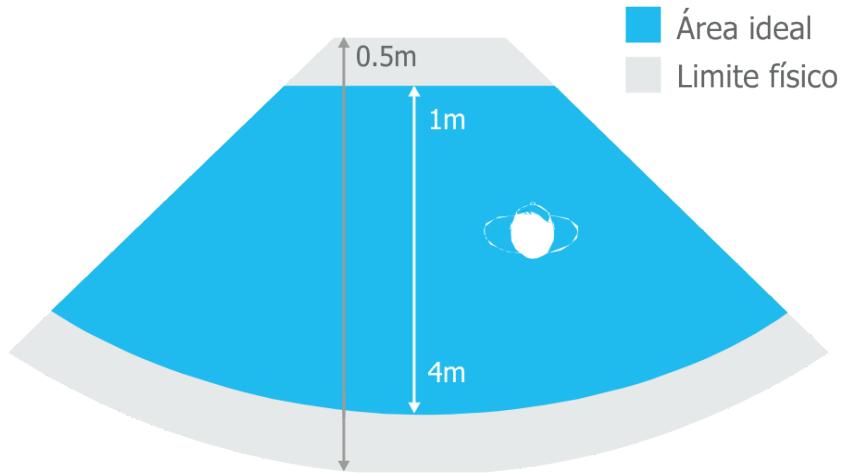


Figura 12: Campo de visão dos sensores Kinect (Microsoft Corporation, 2012).

## 4.2 Método de Captura

A forma como os dados são coletados é de extrema importância e possui um peso muito grande para as etapas seguintes, análise, classificação e reconhecimento de um caminhar. Por esse motivo, uma infraestrutura adequada para as coletas se faz necessária. Entretanto, devido às limitações físicas do sensor, discutidas na seção anterior, foi necessário repensar a forma como as capturas dos caminhares eram feitas e assim, conseguir coletar a maior quantidade possível de dados de um caminhar. Após diversos testes, foi notado que era quase impossível fazer capturas frontais, principalmente pelo fato dos sensores, tanto a primeira como a segunda versão, serem muito sensíveis a vibrações, que ocorriam quando movimentados para frente e para trás, o que acabava fazendo com que os dispositivos perdessem o foco nas pessoas.

Foi decidido que a melhor forma de fazer a captura, seria girando o sensor no seu próprio eixo para acompanhar os indivíduos caminhando e coletar a maior quantidade de frames, referente ao caminhar de individuo, possíveis.

Inicialmente se cogitou em utilizar a mesma forma de coleta utilizada por (ANDERSSON; DUTRA; ARAÚJO, 2014), mas após alguns testes, se percebeu que esse método de captura gerava certas inconsistências nos dados difíceis de se remover. Como o método de coleta escolhido por Andersson et al. (2014) se baseava em uma trajetória semicircular, era necessário que um indivíduo percorresse a trajetória de ida e volta do semicírculo, para cada coleta. Entretanto, ao chegar na metade do caminho, a pessoa em questão necessitava reduzir a sua velocidade até um instante de parada completa, para ser possível dar a volta e refazer o caminho até o ponto de partida inicial. Visto que alguns parâmetros do caminhar humano levam em conta a velocidade de uma pessoa, o tamanho da sua passada, a largura da sua passada, dentre outros, essa redução na velocidade e parada momentânea, mesmo que por um intervalo de tempo relativamente pequeno, poderia prejudicar a qualidade dos dados coletados

pelo Kinect.

Visando evitar tal problema, e após uma série de testes, foi optado por uma captura circular. Nessa captura circular, uma pessoa caminhava em um percurso circular pré-determinado, dando voltas de 360 graus, enquanto o sensor o seguia. A Figura 13 demonstra a forma como foram feitas todas as coletas desse trabalho.

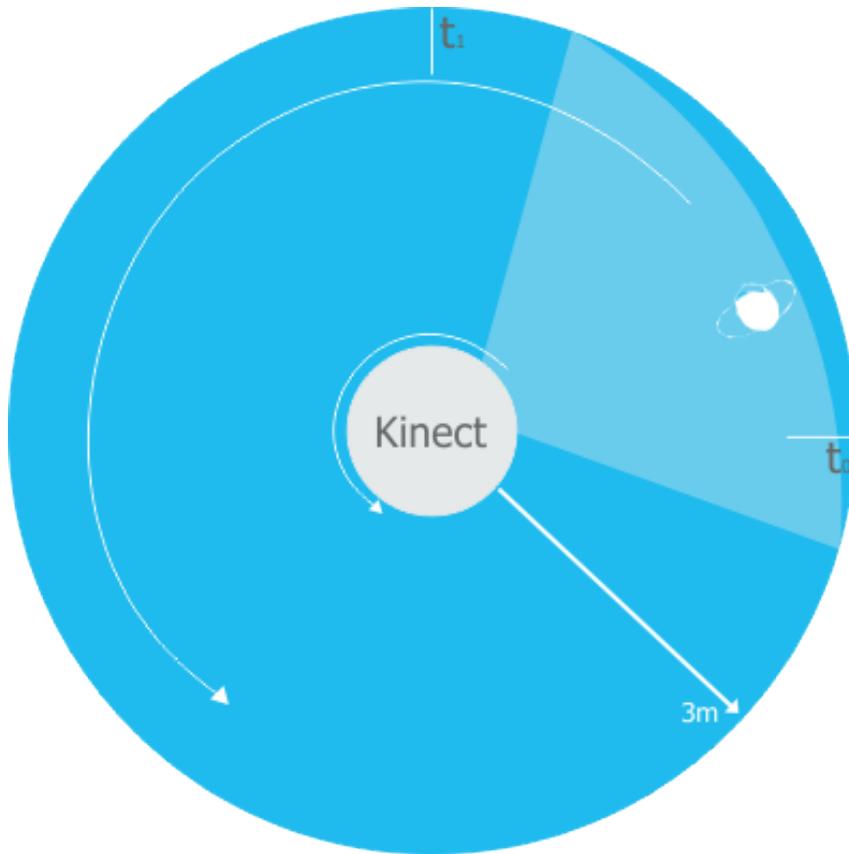


Figura 13: Método de captura.

Para realizar as capturas em um formato circular foi utilizado uma base rotatória, onde era colocado as duas versões do sensor Kinect. A captura dos caminhares se deu da seguinte forma:

1. Uma pessoa era inicialmente posicionada na posição de partida,  $t_0$ ,
2. Está era instruída sobre a sua rota e como proceder durante o percurso, bem como o ponto de parada,  $t_1$ ,
3. O indivíduo começava a caminhar, dando duas voltas completas na área pré-determinada, enquanto o instrutor o acompanhava girando os sensores.

O instrutor não iniciava a coleta no exato momento em que a pessoa iniciava o seu caminhar,  $t_0$ , mas sim em  $t_1$ . Essa distância entre  $t_0$  e  $t_1$ , consegue garantir que a pessoa estaria caminhando quando fosse iniciada a coleta dos dados.

## 5 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

O desenvolvimento deste trabalho se baseou, como foi mencionado anteriormente, na comparação entre os dois sensores Kinect. Procurando responder qual dos dois sensores obteriam melhores resultados quando utilizados como método de captura para o reconhecimento e classificação do caminhar humano. Para isso foi desenvolvido um novo método de captura, descrito no capítulo 4, em conjunto com uma nova abordagem para a análise dos dados.

### 5.1 Metodologia

Os sensores Kinect possuem diversas streams a disposições dos seus usuários, que podem ser utilizadas nas mais diversas aplicações. Neste trabalho será utilizado a stream de *Body Tracking*, que, ao reconhecer um indivíduo no raio de alcance do sensor, consegue fornecer informações sobre a posição de todas as juntas de tal esqueleto.

Todas as coletas realizadas neste trabalho foram feitas tomando como base o método para a coleta de dados detalhado na seção 4.2. A seção 5.3 detalhara mais algumas características dessas coletas.

A partir desses dados coletados quatro grupos de atributos foram criados para os testes de comparação desse trabalho. O objetivo desses testes é dizer qual dos dois sensores obteve os melhores resultados<sup>1</sup> no reconhecimento e classificação de um indivíduo. Para a realização dos testes será utilizado o classificador KNN (*K-Nearest Neighbor*). Na seção 5.2 será explicado o porquê de tal escolha.

### 5.2 Classificador

Segundo Andersson et al. (2014), KNN é um dos classificadores mais utilizados quando estamos trabalhando com biometria de todo o corpo. De acordo com Andersson et. al (2014), o classificador KNN obteve os melhores resultados quando comparado com outros classificadores, como SVM (*Support Vector Machines*) e MLP

---

<sup>1</sup>Nesse contexto, resultados faz referência a precisão do classificador

(*Multi-Layer Perceptron*). Por esse motivo, ele será utilizado em todos os testes desse trabalho.

Para os testes foram criados quatro tamanhos de galerias diferentes, contendo quatro, oito, doze e 16 pessoas distintas. Cada galeria é composta pelos caminhares de n pessoas distintas. Para cada uma dessas galerias, exceto a com 16 pessoas (Tamanho máximo de coletas feitas), foram gerados aleatoriamente cinco subgrupos. Todos os testes foram realizados com um 10-Fold Cross Validation. O classificador KNN foi setado para um K=5, com o algoritmo de busca para o vizinho mais próximo sendo o da distância euclidiana.

### 5.3 Coleta de Dados

Como o objetivo deste trabalho foi comparar as duas versões do sensor Kinect, não foi possível utilizar dados já existentes de outros trabalhos, como (ANDERSSON; DUTRA; ARAÚJO, 2014), e um novo conjunto de coletas se fez necessário. Nesse conjunto era necessário se ter os dados do caminhar de uma pessoa tanto para a primeira versão do sensor Kinect, quanto para a segunda. Possibilitando assim uma comparação mais precisa entre as duas versões do sensor.

Para esta coleta de dados, voluntários foram recrutados aleatoriamente pelas imediações do local de coleta. Participaram da coleta um total de 16 pessoas, onde 9 delas eram mulheres e 7 eram homens. A faixa etária varia entre 18 e 40 anos de idade, com alturas variando entre 1.50 metros e 1.95 metros. Cada um dos voluntários que aceitaram participar da coleta executaram o percurso descrito no capítulo 4 seção 4.2 quatro vezes, gerando um total 800 a 1300 frames por vez. Posteriormente os dados coletados foram divididos em quatro grupos para a classificação.

Nas subseções a seguir, serão descritos os quatro grupos de dados criados nesse trabalho, bem como os atributos que foram cada um deles.

Para todos os atributos de antropometria citados nas seções seguintes, a distância euclidiana entre duas juntas do esqueleto foi calculada, para cada frame capturado. Similar ao que foi feito por Andersson et al. (2014), O cálculo da altura, utilizado pelo grupo de atributos Antropometria I, de um indivíduo, para o Kinect v1, foi feito como a soma entre os pontos Cabeça - Centro Ombro, Centro Ombro - Coluna, Coluna - Centro Quadril, e a média do comprimento das distâncias dos membros da esquerda e direita das pernas, Quadril - Joelho, e Joelho - Calcanhar, Calcanhar - Pé. Para o Kinect v2, foi utilizado a mesma soma de atributos do Kinect v1, mas foi modificado o cálculo da altura entre a cabeça e o centro do ombro, devido a inserção de um novo ponto entre esses dois na segunda versão do sensor. O cálculo é feito somando-se as distâncias entre Cabeça - Pescoço e Pescoço - Centro Ombro aos outros atributos relevantes para a altura anteriormente citados. Para mais informações vide (ANDERS-

SON; DUTRA; ARAÚJO, 2014).

### 5.3.1 Antropometria I

Este grupo é composto por todos os dados de antropometria utilizados na análise e classificação, as Tabelas 2 e 3, versão um e versão dois respectivamente, descrevem todos os atributos utilizados.

---

Atributos de antropometria Kinect v1

---

Altura	Centro Ombro - Coluna
Cabeça - Centro Ombro	Coluna Centro Quadril
Centro Ombro - Ombro Direito	Centro Quadril - Quadril Direito
Ombro Direito - Cotovelo Direito	Quadril Direito - Joelho Direito
Cotovelo Direito - Pulso Direito	Joelho Direito - Calcanhar Direito
Pulso Direito - Mão Direita	Calcanhar Direito - Pé Direito
Centro Ombro - Ombro Esquerdo	Centro Quadril - Quadril Esquerdo
Ombro Esquerdo - Cotovelo Esquerdo	Quadril Esquerdo - Joelho Esquerdo
Cotovelo Esquerdo - Pulso Esquerdo	Joelho Esquerdo - Calcanhar Esquerdo
Pulso Esquerdo - Mão Esquerda	Calcanhar Esquerdo - Pé Esquerdo

---

Tabela 2: Atributos de antropometria utilizados no grupo Antropometria I para o Kinect v1.

---

Atributos de antropometria Kinect v2

---

Altura	Mão Esquerda - Ponta Mão Esquerdo
Cabeça - PESCOÇO	Mão Esquerda - Dedão Esquerdo
PESCOÇO - Centro Ombro	Centro Ombro - Coluna
Centro Ombro - Ombro Direito	Coluna - Centro Quadril
Ombro Direito - Cotovelo Direito	Centro Quadril - Quadril Direito
Cotovelo Direito - Pulso Direito	Quadril Direito - Joelho Direito
Pulso Direito - Mão Direita	Joelho Direito - Calcanhar Direito
Mão Direita - Ponta Mão Direita	Calcanhar Direito - Pé Direito
Mão Direita - Dedão Direito	Centro Quadril - Quadril Esquerdo
Centro Ombro - Ombro Esquerdo	Quadril Esquerdo - Joelho Esquerdo
Ombro Esquerdo - Cotovelo Esquerdo	Joelho Esquerdo - Calcanhar Esquerdo
Cotovelo Esquerdo - Pulso Esquerdo	Calcanhar Esquerdo - Pé Esquerdo
Pulso Esquerdo - Mão Esquerda	

---

Tabela 3: Atributos de antropometria utilizados no grupo Antropometria I para o Kinect v2.

### 5.3.2 Antropometria II

Este grupo é composto apenas pelos dados de antropometria do lado esquerdo do corpo de um indivíduo. Os atributos do lado esquerdo de um indivíduo, fazem

referência a todos os atributos que estão voltados para a câmera e que não são sobrepostos por nenhum outro atributo durante a coleta. A Tabela 4 descreve todos os atributos utilizados, tanto para o Kinect v1 como para o Kinect v2.

Atributos de antropometria Kinect v1	Atributos de antropometria Kinect v2
Centro Ombro - Ombro Esquerdo	Centro Ombro - Ombro Esquerdo
Ombro Esquerdo - Cotovelo Esquerdo	Ombro Esquerdo - Cotovelo Esquerdo
Cotovelo Esquerdo - Pulso Esquerdo	Cotovelo Esquerdo - Pulso Esquerdo
Pulso Esquerdo - Mão Esquerda	Pulso Esquerdo - Mão Esquerda
Centro Quadril - Quadril Esquerdo	Mão Esquerda - Ponta Mão Esquerda
Quadril Esquerdo - Joelho Esquerdo	Mão Esquerda - Dedão Esquerdo
Joelho Esquerdo - Calcanhar Esquerdo	Centro Quadril - Quadril Esquerdo
Calcanhar Esquerdo - Pé Esquerdo	Quadril Esquerdo - Joelho Esquerdo
	Joelho Esquerdo - Calcanhar Esquerdo
	Calcanhar Esquerdo - Pé Esquerdo

Tabela 4: Atributos de antropometria utilizados no grupo Antropometria II para o Kinect v1 e v2.

### 5.3.3 Antropometria III

De uma forma similar aos atributos descritos na subseção 5.3.2, a antropometria III é composta por todos os atributos de antropometria do lado direito corpo de um indivíduo, que não estão voltado para a câmera e, em algum momento, acabam sendo sobrepostos por outros atributos. A Tabela 5 descreve esses atributos.

Atributos de antropometria Kinect v1	Atributos de antropometria Kinect v2
Centro Ombro - Ombro Direito	Centro Ombro - Ombro Direito
Ombro Direito - Cotovelo Direito	Ombro Direito - Cotovelo Direito
Cotovelo Direito - Pulso Direito	Cotovelo Direito - Pulso Direito
Pulso Direito - Mão Esquerda	Pulso Direito - Mão Esquerda
Centro Quadril - Quadril Direito	Mão Direita - Ponta Mão Direito
Quadril Direito - Joelho Direito	Mão Direita - Dedão Direito
Joelho Direito - Calcanhar Direito	Centro Quadril - Quadril Direito
Calcanhar Direito - Pé Direito	Quadril Direito - Joelho Direito
	Joelho Direito - Calcanhar Direito
	Calcanhar Direito - Pé Esquerdo

Tabela 5: Atributos de antropometria utilizados no grupo Antropometria III para o Kinect v1 e v2.

### 5.3.4 Atributos do Caminhar

Os atributos do caminhar fazem referência aos parâmetros temporais, espaciais e cinemáticos descritos na subseção 2.2.1 no capítulo 2 e estão descritos na Tabela

6. Os ângulos descritos nesse trabalho foram calculados de cada frame capturado, utilizando o modelo de pendulo proposto por (CUNADO; NIXON; CARTER, 2003). Para mais informações sobre esses atributos, vide (ANDERSSON; DUTRA; ARAÚJO, 2014) e (CUNADO; NIXON; CARTER, 2003).

Atributos do Caminhar Humano	
Ângulo do Quadril Direito	
Ângulo do Quadril Esquerdo	
Ângulo do Joelho Esquerdo	
Ângulo do Joelho Direito	
Ângulo do Calcanhar Direito	
Ângulo do Calcanhar Esquerdo	
Comprimento da Passada	
Largura da Passada	
Tempo por Ciclo	
Velocidade	

Tabela 6: Atributos do Caminhar humano utilizados tanto para o Kinect v1 como para o Kinect v2.

Em conjunto com a coleta de dados, foi necessário aplicar um filtro junto aos dados brutos das capturas fornecido pelo Kinect. A aplicação de um filtro se faz necessário pelo fato de que todo o sistema que faz medições quantitativas via sensores possuem erros de medições e ruídos externos(MICROSOFT, 2011). Dentro todos os filtros sugeridos pela própria Microsoft, foi escolhido o filtro Savitzky-Golay por apresentar uma boa suavização quando aplicado nos dados brutos do Kinect. Uma janela de tamanho 11 e uma ordem polinomial igual a três foi escolhido para o filtro.

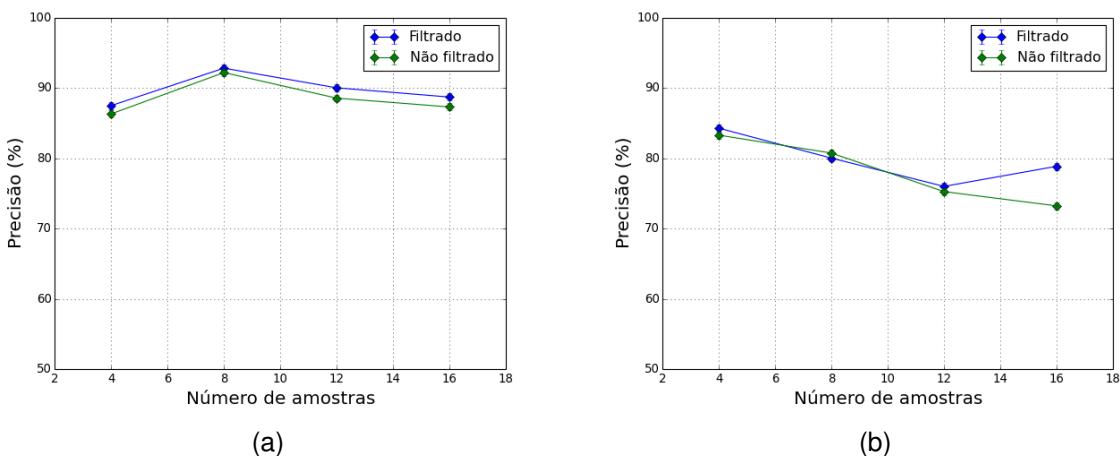


Figura 14: Gráficos de comparação entre os dados filtrados e não filtrados para o grupo de dados Antropometria I, (a) Kinect v1 e (b) Kinect v2.

Os gráficos contidos na Figura 14 demonstram o efeito do filtro Savitzky-Golay. É possível perceber que para todos os tamanhos de galeria na versão um e versão dois do Kinect, com exceção do tamanho de galeria oito da versão dois, houve uma pequena melhora na precisão dos dados quando aplicado o classificador.

## 5.4 Comparação Entre os dois Sensores Kinect

Como foi descrito na seção 3.1 do Capítulo 3, a versão dois do sensor Kinect recebeu melhorias significativas, se comparadas com o seu predecessor, como a inserção de novas juntas e o reposicionamento de certas juntas para lugares mais precisos do corpo humano (VIRTUAL ACADEMY, 2014). Entretanto, após a realização dos testes se notou que a versão dois, Kinect One, do sensor obteve os resultados esperados, se saindo relativamente pior que a primeira versão, Kinect 360.

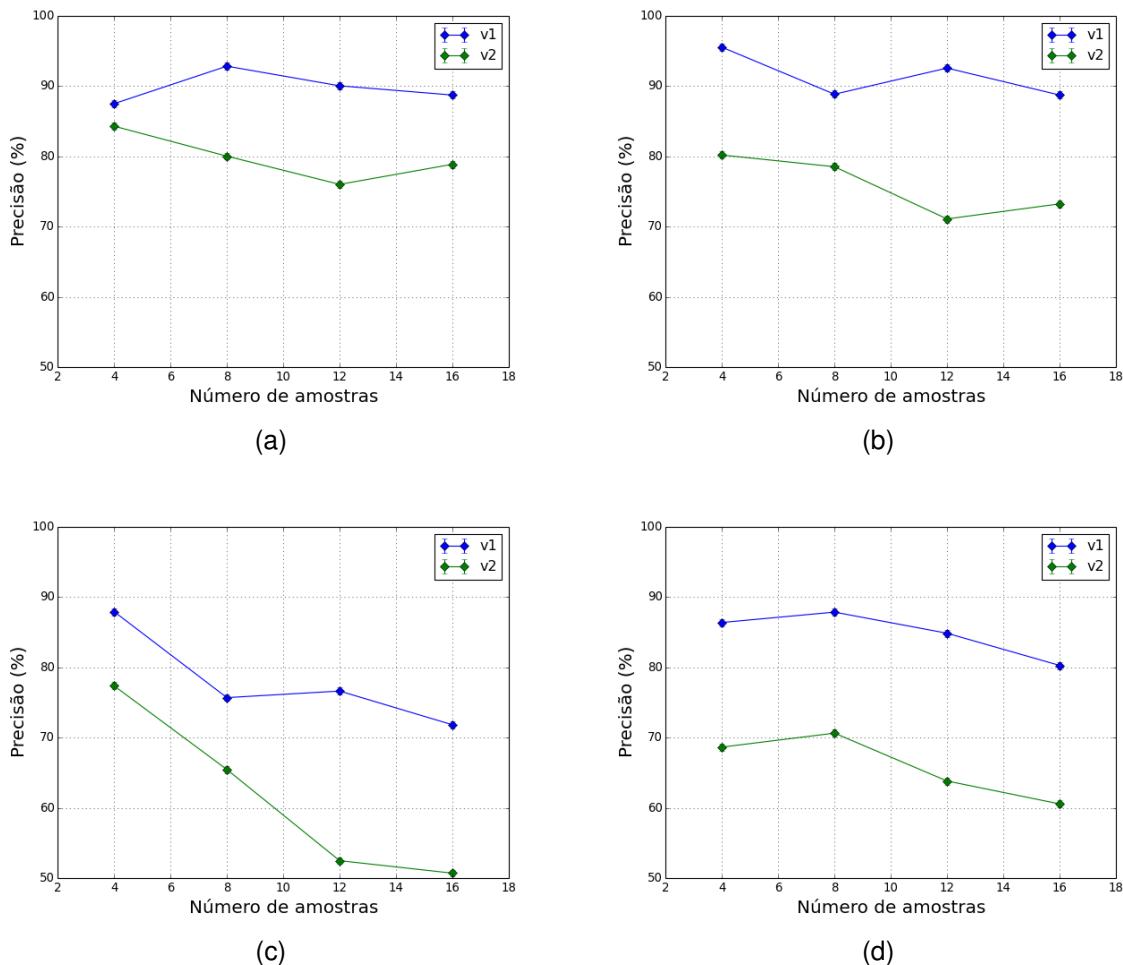


Figura 15: Comparação entre os grupos de dados, (a) Antropometria I, (b) Antropometria II, (c) Antropometria III e (d) Atributos do Caminhar.

Observando os gráficos contidos nas Figuras 15 é possível perceber que em todos

os testes realizados entre com os grupos anteriormente citados na seção 5.3, Antropometria I, Antropometria II, Antropometria III e Atributos do Caminhar, a versão um do sensor Kinect se saiu consideravelmente melhor, não sendo superada em nenhum dos testes pela segunda versão do sensor.

Quando observamos os gráficos 15(b) e 15(c), referentes aos grupos de dados Antropometria II e Antropometria III respectivamente, observamos uma diferença significativa na precisão dos dados quando aplicado o classificador. Isso se deve ao fato da posição dos membros de cada grupo e como o sensor Kinect consegue enxergá-los. Como os atributos que constituem o grupo Antropometria III se encontram grande parte do tempo sobrepostos<sup>2</sup> por outros atributos, uma inferência desses pontos se faz necessária (MICROSOFT, 2011). Porém, essa inferência acaba gerando um erro relativamente grande, impactando assim a qualidade dos dados gerados pelo Kinect e os resultados obtidos quando são utilizados na biometria pelo caminhar.

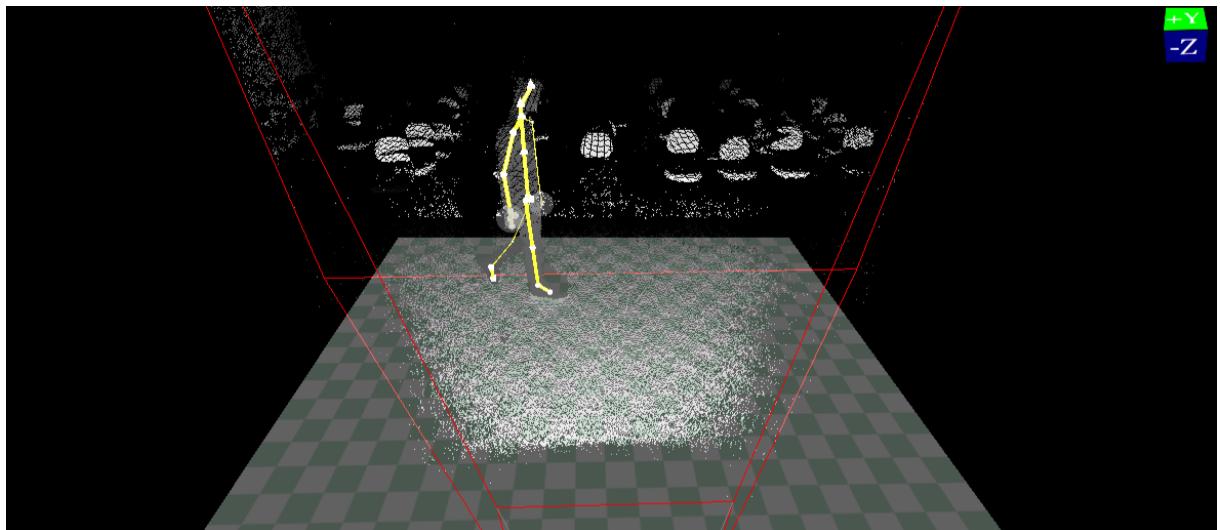


Figura 16: Efeito da inferência de alguns membros do corpo humano durante uma caminhada.

Existem casos em que o rastreamento do esqueleto dos sensores Kinect não possuem informações suficientes para determinar a posição específica de uma ou mais juntas do corpo. Isso ocorre quando existe uma sobreposição dessas juntas por algum objeto e/ou outras juntas do corpo. Na maioria dos casos o rastreamento do esqueleto é capaz de inferir a posição dessas juntas através da NUI do sensor, retornando essas informações como parte das informações do esqueleto (MICROSOFT, 2011).

A imagem da Figura 16 foi extraída de um conjunto de testes realizados em um primeiro momento, antes do início das coletas de dados. Essa imagem demonstra exatamente esse efeito de inferência de certos membros do corpo durante uma ca-

---

<sup>2</sup>Sobrepostos significa quando existe alguma coisa ou alguém obstruindo a visão do sensor para alguma junta do esqueleto.

minhada. É possível ver no esqueleto gerado sobre o corpo da pessoa caminhando, que alguns membros do corpo estão representados por uma linha um pouco mais fina que outros membros, nesse exemplo em questão, todo o lado do corpo que não está virado para o Kinect.

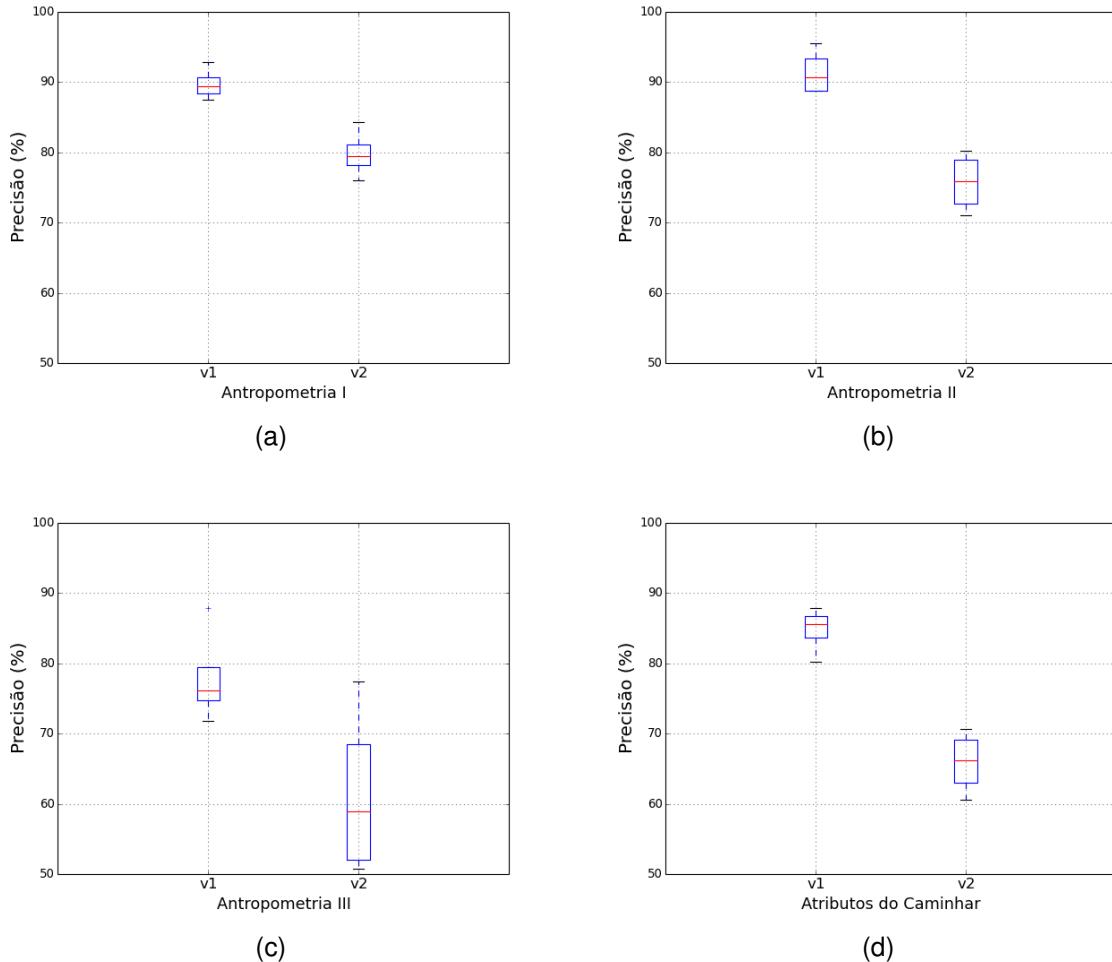


Figura 17: Comparação entre as duas versões do sensor Kinect, (a) Antropometria I, (b) Antropometria II, (c) Antropometria III e (d) Atributos do Caminhar.

Os gráficos na Figura 17, representam a precisão média do classificador KNN para cada um dos grupos de dados descritos nesse trabalho. Nesses gráficos é possível notar que em todos os casos de teste a versão um do sensor obteve melhores resultados, quando comparados com a versão dois do sensor.

Se compararmos os gráficos 17(b), referente ao conjunto de dados Antropometria II, com o gráfico 17(a), referente ao conjunto de dados Antropometria I, notamos que o grupo de atributos Antropometria II obteve resultados melhores. Essa melhora nos resultados, quando utilizado apenas o conjunto de dados Antropometria II, era esperada. Trabalhos como (ANDERSSON; DUTRA; ARAÚJO, 2014) e (KUMAR; BABU, 2012) sugerem que a adição ou remoção de certos atributos podem afetar significa-

tivamente a precisão do classificador. Tendo em vista que o conjunto de dados Antropometria I possui as informações contidas em Antropometria II e III, era esperado que o mesmo não alcançasse os melhores resultados visto a precisão dos dados de Antropometria III, que, se comparados a todos os outros casos de testes, obteve os piores resultados.

Já a precisão do classificador KNN, quando aplicado o conjunto de dados contendo os atributos do caminhar, fornecidos pelas duas versões do Kinect, a versão um do sensor obteve os melhores resultados.

## 6 CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi apresentado uma comparação entre as duas versões do sensor de movimento Microsoft Kinect disponíveis no mercado. Essa comparação tinha como objetivo indicar qual das duas versões do sensor Kinect obteria os melhores resultados quando fosse aplicado na biometria pelo caminhar. Em conjunto com a comparação dos dois sensores, uma nova abordagem para a análise desses dados foi utilizada e um novo método de captura foi desenvolvido, aumentando o número de ciclos de caminhar coletados e melhorando a qualidade dos dados coletados. Essa melhora se deve ao fato do indivíduo manter um padrão de caminhada estável, durante toda a coleta, evitando paradas e reduções na sua velocidade e tamanho da passada, que afetariam os atributos do caminhar.

Observamos que o principal objetivo deste trabalho, a comparação dos dois sensores de movimento Kinect, foi atingida. Em todos os testes realizados, a versão um do sensor obteve melhores resultados. Esses resultados demonstram que as melhorias realizadas no hardware e software da versão dois do sensor, não resultaram em melhorias nos resultados quando utilizamos o sensor Kinect na biometria pelo caminhar. Entretanto, o porquê da versão dois do sensor Kinect não obter resultados no mínimo similares ao do seu predecessor não está claro. Até o presente momento, não existem trabalhos no meio acadêmico que visam a comparação entre os dois sensores como foi realizado nesse trabalho, para um estudo mais amplo do porquê dessa diferença na precisão dos classificadores entre os dados fornecidos pelos sensores Kinect.

O novo método de captura empregado neste trabalho se mostrou muito eficiente, principalmente pela quantidade de ciclos de caminhar que são coletados por captura, podendo chegar a 28 ciclos por captura. Porém, como foi descrito no texto, esse método demonstrou um pequeno problema. Em certos momentos o sensor necessita inferir certas juntas do esqueleto que acabam sendo sobrepostas por outras juntas. Essa inferência acaba gerando um erro considerável nas informações fornecidas pelos sensores Kinect.

Para tentar resolver o problema da inferência, uma nova abordagem para a análise

dos dados foi proposta, utilizar apenas as informações do esqueleto que estão voltadas para a câmera. Essa abordagem quando comparada com todas as outras empregadas nesse trabalho obteve, no geral, os melhores resultados.

Para os trabalhos futuros, será estudado a viabilidade da aplicação de um novo método de captura que consiga visualizar o máximo possível de um indivíduo caminhando, diminuindo assim ao máximo o erro causado pela inferência de certas juntas. Novos conjuntos de dados devem ser estudados procurando encontrar aqueles grupo de atributos que retorne os melhores resultados possíveis.

## REFERÊNCIAS

- ACTIVE, T. **Three Planes of Motion.** Acessado em Agosto de 2015, <http://targetactivepersonaltraining.com/wp-content/uploads/2015/03/Planes-of-Motion1.jpg>.
- ANDERSSON, V.; DUTRA, R.; ARAÚJO, R. Anthropometric and Human Gait Identification Using Skeleton Data from Kinect Sensor. , [S.I.], p.60–61, 2014.
- ANDERSSON, V. O. **Investigando o Uso do Microsoft Kinect na Biometria através do Caminhar Humano.** 2012. Dissertação de Mestrado — PPGC/UFPEL, Pelotas/RS.
- BOULGOURIS, N. V.; HATZINAKOS, D.; PLATANIOTIS, K. N. Gait recognition: a challenging signal processing technology for biometric identification. **IEEE Signal Processing Magazine**, [S.I.], v.22, n.6, p.78–90, 2005.
- CUNADO, D.; NIXON, M. S.; CARTER, J. N. Automatic extraction and description of human gait models for recognition purposes. **Computer Vision and Image Understanding**, [S.I.], v.90, n.1, p.1–41, 2003.
- CUTTING, J. E.; KOZLOWSKI, L. T. **Recognizing Friends by Their Walk: Gait Perception Without Familiarity Cues.** 353–356p. v.9, n.5.
- GHOSH, M.; BHATTACHARJEE, D. Gait Recognition for Human Identification Using Fourier Descriptor and Anatomical Landmarks. **International Journal of Image, Graphics and Signal Processing**, [S.I.], v.7, n.2, p.30–38, 2015.
- JOHANSSON, G. Visual perception of biological motion and a model for its analysis. **Perception & psychophysics**, [S.I.], v.14, n.2, p.201–211, 1973.
- KUMAR, M.; BABU, R. V. Human gait recognition using depth camera: a covariance based approach. In: EIGHTH INDIAN CONFERENCE ON COMPUTER VISION, GRAPHICS AND IMAGE PROCESSING, 2012. **Proceedings...** [S.I.: s.n.], 2012. p.20.

- MCMAHON, Z. Biometrics: History. **Indiana University, Indiana University Computer ...**, [S.I.], n.August, p.1–27, 2005.
- MICROSOFT. **Skeletal Joint Smoothing White Paper**. Acessado em Setembro de 2015, <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj131429.aspx#ID4ELNAC>.
- MICROSOFT. **Joints Type Enumeration v2**. Acessado em Agosto de 2015, <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/microsoft.kinect.jointtype.aspx>.
- Microsoft Corporation. Human Interface Guidelines. **Microsoft Corporation**, [S.I.], p.70, 2012.
- Microsoft Corporation. Kinect for Windows — Human Interface Guidelines v1.8. **Microsoft Corporation**, [S.I.], p.1–142, 2013.
- MURRAY, M. P.; DROUGHT, a. B.; KORY, R. C. Walking Patterns of Normal Men. **The Journal of Bone and Joint Surgery**, [S.I.], v.46, n.2, p.335–360, 1964.
- VAUGHAN, C. L.; DAVIS, B. L.; O'CONNOR, J. C. **Dynamics of Human Gait**. [S.I.: s.n.], 1992. 137p.
- VIRTUAL ACADEMY, M. **Programming Kinect for Windows v2 Jump Start**. Acessado em Setembro de 2015, <https://www.microsoftvirtualacademy.com/en-US/training-courses/programming-kinect-for-windows-v2-jump-start-9088>.
- YOO, J.-H.; NIXON, M. S. Automated Markerless Analysis of Human Gait Motion for Recognition and Classification. **ETRI Journal, 33, (3)**, [S.I.], p.259–266, 2011.
- ZHANG, R.; VOGLER, C.; METAXAS, D. Human gait recognition. ... **Vision and Pattern Recognition ...**, [S.I.], p.1–8, 2004.

## **ANEXO A DADOS DAS COLETAS**



Figura 18: Link para as coletas realizadas.