

LUCIANA HELENA VIEIRA CARVALHO



**UMA APLICAÇÃO DE METODOLOGIAS DE  
APRENDIZADO DE MÁQUINA NO  
APERFEIÇOAMENTO DOS MOVIMENTOS DE  
UMA HABILIDADE DESPORTIVA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Informática Aplicada da Pontifícia Universidade Católica do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Informática Aplicada.

Área de Concentração: *Mineração de Dados e Descoberta do Conhecimento*

Orientador: Prof. Dr. Bráulio Coelho Ávila

Co-orientador: Prof. Dr. Marcos Augusto H. Schmeil

U15  
004  
C331a  
2003



CURITIBA

2003

Carvalho, Luciana Helena Vieira

Título da Dissertação ou Tese. Curitiba, 2003. nnp.

Dissertação – Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Informática Aplicada.

1. Inteligência Artificial 2. Expert System 3. Machine Learning 4. Biomecânica. I.Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Informática Aplicada II-t



Pontifícia Universidade Católica do Paraná  
Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Informática Aplicada

ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO  
DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA APLICADA  
DA PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ

DEFESA DE DISSERTAÇÃO Nº 091

Aos 19 dias do mês de dezembro de 2003 realizou-se a sessão pública de defesa da dissertação “Uma Aplicação de Metodologias de Aprendizado de Máquina no Aperfeiçoamento dos Movimentos de uma Habilidade Desportiva”, apresentado por **Luciana Helena Vieira Carvalho** como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Informática Aplicada**, perante uma Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Bráulio Coelho Ávila  
PUCPR (Orientador)

B. C. Ávila  
assinatura

aprovada  
parecer (aprov/ reprov.)

Prof. Dr. Marcos A. H. Shmeil  
PUCPR (co-orientador)

M. A. H. Shmeil

aprovada

Prof. Dr. Júlio Cesar Nievola  
PUCPR

J. C. Nievola

APROVADA

Prof. Dr. Milton Pires Ramos  
TECPAR

M. P. Ramos

aprovada

Conforme as normas regimentais do PPGIA e da PUCPR, o trabalho apresentado foi considerado aprovada (aprovado/reprovado), segundo avaliação da maioria dos membros desta Banca Examinadora. Este resultado está condicionado ao cumprimento integral das solicitações da Banca Examinadora, conforme registrado no Livro de Defesas do programa.

Prof. Dr. Bráulio Coelho Ávila  
Diretor do PPGIA PUCPR

20/02/04 B. C. Ávila  
Data e assinatura, após homologação da defesa pelo Colegiado.

*Vanderlei, João Augusto e Maria Cecília,  
Obrigada por existirem em minha vida.*

## Agradecimentos

A maior alegria que se pode ter é a de poder agradecer. Quando temos tantas pessoas a agradecer, como eu tenho ao terminar este trabalho, significa que durante nossa caminhada cruzamos por muitas pessoas que nos auxiliaram a não parar.

Ao tentar nomear todos os que me ajudaram, fico preocupada em injustamente esquecer algum nome. Mas espero, que se isso ocorrer, minha falha seja perdoada.

Começo então agradecendo a meu marido Vanderlei, que possibilitou financeiramente este estudo, e ao Prof. Dr. Marcos Augusto H. Schmeil, que possibilitou tecnicamente o mesmo. Ambos tiveram para comigo uma paciência sem medidas.

Em seguida agradeço: aos professores de biomecânica: Prof. Antônio Renato Mouro da UFSC, Prof. João Siqueira da PUCPR, Prof. Mario César de Andrade do CEFID/UFSC, e Prof. André L. F. Rodacki da UFPR; ao professor de física: Prof. Marcos A. V. Nascimento do CEFET/SC; e aos treinadores de tênis: Marcelo Bittencurt, Prof. Eduardo Marcolin, Prof. Edson Gomes e Prof. Juarez Miller; as Federações de Tênis do estado de Santa Catarina e do Paraná, e a Renata secretária do PPGIA.

E por último, porém muito especial, agradeço a minha irmã Lizete, que muito me auxiliou na implementação do protótipo deste trabalho.

# Sumário

<b>Agradecimentos</b> .....	i
<b>Sumário</b> .....	ii
<b>Lista de Figuras</b> .....	iii
<b>Lista de Tabelas</b> .....	iv
<b>Lista de Abreviaturas</b> .....	v
<b>Resumo</b> .....	vi
<b>Abstract</b> .....	viii
<b>Capítulo 1</b> .....	1
<b>Introdução</b> .....	
1.1. Desafio.....	2
1.2. Motivação.....	3
1.3. Cenário.....	4
1.4. Objetivos .....	11
1.4.1. Geral .....	11
1.4.2. Específico .....	11
1.5. Estado da Arte .....	12
1.5. Organização .....	18
<b>Capítulo 2</b> .....	
<b>Biomecânica</b> .....	19

2.1. Conceitos .....	19
2.1.1. Formas de Movimento .....	20
2.1.2. Cinemática .....	20
2.1.3. Cinética .....	20
2.1.4. Mecânica dos Fluidos .....	20
2.1.5. Planos .....	21
2.1.6. Eixos .....	22
2.1.7. Movimentos .....	23
2.2. Análise do Movimento Humano .....	29
2.3. Análise do Movimento Desportivo .....	34
2.4. Conclusão .....	37

### **Capítulo 3**

<b>Inteligência Artificial .....</b>	<b>38</b>
3.1. Conhecimento .....	41
3.2. Aquisição do Conhecimento .....	42
3.3. Representação do Conhecimento .....	43
3.4. Representação de Incertezas .....	45
3.5. Estratégias de Busca .....	45
3.6. Tipos de Sistemas Inteligentes .....	46
3.6.1. Sistemas Especialistas .....	46
3.6.2. Aprendizagem de Máquina .....	51
3.6. Conclusão .....	55

### **Capítulo 4**

<b>Modelo do Sistema .....</b>	<b>57</b>
--------------------------------	-----------

4.1. Modelo do Estudo Biomecânico .....	57
4.1.1. Determinar os objetivos .....	57
4.1.2. Observar as características .....	58
4.1.3. Estudar Desempenhos Excelentes .....	58
4.1.4. Dividir a Habilidade em Fases .....	58
4.1.5. Dividir cada Fases em Movimentos .....	61
4.1.6. Entender as razões Mecânicas da Execução dos Movimento ....	61
4.2. Modelo para o Estudo do Sistema Computacional de Suporte a Análise dos Movimentos .....	61
4.2.1. Dados de Entrada .....	62
4.2.2. Pré- processamento .....	64
4.2.3. Definição das Características .....	67
4.2.4. Classificador .....	67
4.3. Conclusão .....	69
 <b>Capítulo 5</b>	
<b>O Sistema de Suporte Computacional .....</b>	<b>70</b>
5.1. Resultados Obtidos .....	75
5.2. Conclusão .....	83
 <b>Capítulo 6</b>	
<b>Conclusão .....</b>	<b>84</b>
6.1. Proposta para novos trabalhos .....	85

<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>86</b>
<b>Apêndice A</b>	
<b>Tabela das Coordenadas .....</b>	<b>93</b>
A.1 Coordenadas do primeiro serviço .....	93
A.2 Coordenadas do segundo serviço .....	94
A.3 Coordenadas do terceiro serviço .....	95
<b>Apêndice B</b>	
<b>Tabela das Métricas .....</b>	<b>96</b>

## Lista de Figuras

Figura 1.1	Dimensões da quadra de tênis [BRO00].....	5
Figura 1.2	Movimento da raquete de tênis [DTB79] .....	8
Figura 1.3	Execução do serviço [KNU01] .....	9
Figura 2.1	Planos do corpo humano [HAY85] .....	22
Figura 2.2	Laboratório de Biomecânica .....	31
Figura 2.3	Esquema de um movimento de uma habilidade .....	32
Figura 2.4	Esquemas de seqüências de movimentos de uma habilidade .....	32
Figura 2.5	Esquema de uma seqüência de movimentos .....	32
Figura 2.6	Vídeo mostrando um movimento com marcadores .....	33
Figura 3.1	Arquitetura de um Sistema Especialista.....	47
Figura 3.2	Esquema dos métodos de aprendizagem .....	52
Figura 4.1	Momento 1 no serviço do tênis .....	59
Figura 4.2	Momento 2 no serviço do tênis .....	59
Figura 4.3	Momento 3 no serviço do tênis .....	60
Figura 4.4	Momento 4 no serviço do tênis .....	60
Figura 4.5	Atleta com marcadores .....	63
Figura 4.6	Esquema do sistema computacional .....	68
Figura 5.1	Tela inicial .....	70
Figura 5.2	Tela para inserir tenista .....	71
Figura 5.3	Tela para inserir os dados do serviço .....	72
Figura 5.4	Tela para comparar serviços .....	74
Figura 5.5	Árvore de decisão gerada pelo software C.4.5 .....	82

## Lista de Tabelas

Tabela 2.1	Movimentos humanos em relação aos planos .....	23
Tabela 2.2	Localização do centro de gravidade dos segmentos [HALL00] .....	25
Tabela 2.3	Peso dos segmentos expresso em percentagem do peso total do corpo [HALL00] .....	25
Tabela 4.1	Valor da velocidade a ser armazenado conforme intervalo.....	66
Tabela 5.1	Coordenadas do ponto no tornozelo. ....	76
Tabela 5.2	Coordenadas do ponto no joelho. ....	76
Tabela 5.3	Coordenadas do ponto na pelve. ....	77
Tabela 5.4	Coordenadas do ponto no ombro. ....	77
Tabela 5.5	Coordenadas do ponto no cotovelo. ....	78
Tabela 5.6	Coordenadas do ponto no punho. ....	78
Tabela 5.7	Coordenadas do ponto no pescoço e na raquete. ....	79
Tabela 5.8	Coordenadas do ponto na bola e no esterno. ....	79
Tabela 5.9	Métricas das coordenadas reais no momento 1. ....	80
Tabela 5.10	Métricas das coordenadas reais no momento 1. ....	81
Tabela 5.11	Métricas das coordenadas reais no momento 1. ....	81
Tabela 5.12	Métricas das coordenadas reais no momento 1. ....	82

## Lista de Abreviaturas

<i>3D</i>	Tridimensional
<i>Hz</i>	Hertz
<i>I.A.</i>	Inteligência Artificial
<i>Km/h</i>	Kilometro por hora
<i>M.L.</i>	Machine Learning
<i>m</i>	Metros
<i>S.E.</i>	Sistemas Especialistas

## Resumo

Este trabalho apresenta, utilizando as metodologias de Inteligência Artificial de Aprendizagem Automática (“*Machine Learning*”) e de Sistemas Especialista (“*Expert Systems*”), a análise de uma determinada habilidade desportiva de um atleta baseada em variáveis que influenciam em seu desempenho. Como é inviável desenvolver uma análise que seja capaz de contemplar qualquer habilidade de qualquer desporto, escolheu-se então, como base o tênis e como habilidade o saque, por considerarmos ser esta a habilidade de maior influência para o resultado do jogo de tênis. Quando o atleta está em um nível técnico baixo, é claramente visível pelo treinador o que ocorre na técnica de sacar, mas ao melhorá-lo os detalhes passam a ser menos perceptíveis. Estes detalhes imperceptíveis ocorrem pois todos os movimentos acontecem de forma muito rápida e com alterações mínimas, sendo necessárias então, análises biomecânicas para poder analisá-los. Não existe entretanto sistemas brasileiros para captura e análise de movimentos completos. Os sistemas importados a que se tem acesso são extremamente caros e fazem apenas uma análise parcial. Desenvolveu-se então um sistema computacional que recebendo as coordenadas de cada movimentos do serviço do tênis em forma de planilhas analisa o golpe no todo. Para fornecer quadro a quadro as coordenadas sobre cada movimento do atleta foi utilizado o equipamento da Peak Motus Versão 4.0. Este equipamento é composto por câmeras digitais de alta velocidade que filmam o atleta em movimento com sensores. Quando de um saque, existem diversos fatores que precisam ser analisados para que se possa determinar com melhor precisão como cada movimento ocorreu. O primeiro passo deste trabalho foi selecionar quais fatores expressos em forma de variáveis seriam analisados. Em seguida definir quais as coordenadas necessárias para conseguir mensurar estes fatores. Desenvolveu-se então um Sistema Inteligente na linguagem Delfi 7.0 que, a partir de coordenadas analisa os saques e determina como foi a execução de cada fator para obter o mais rápido. Para isso o sistema cria uma árvore de decisão através do software C 4.5 após analisar diversas repetições do saque por um mesmo atleta, e faz uma busca por encadeamento regressivo para definir um padrão para este atleta. Assim, sempre que o

atleta executar um novo saque este será comparado com o padrão e então evidenciadas as diferenças. O padrão será atualizado sempre que o atleta executar um saque que tiver melhor desempenho do que os já realizados.

## Abstract

This thesis presents, using as methodology Artificial Intelligence of automatic learning ("Machine Learning") and the Expert Systems, the analysis of a specific ability of an athlete based on variables that influence his or her performance. Since it's not feasible to develop an analysis that is able to analyze any ability of any athlete, it was chosen as a base Tennis as the sport and the service as the ability (the service was chosen because it is believed to be the great influence on the game result). When the athlete is in a low technique level, it's clear to the coach what occurs on the technique of the service, although as the player gets better the details become more and more difficult to be noticed. It happens because all the movements start to happen very fast and with very little modifications. So it becomes necessary the use of biomechanics analysis. However there are no Brazilians systems to capture and analyze these movements completely. The imported systems which we have access are extremely expensive and perform a partial analysis. So it was developed a computer system that receiving the coordinates of each service movements analyzes the movement completely. To provide a picture-by-picture of each player's movement coordinates was used the Peak Motus Version 4.0 (PEA98) equipment. This equipment consists in digital cameras of very high speed that record the athlete moving with sensors when in a serve there are many things that need to be analyzed so it can determine with a better accuracy how each movement occurred. The first step of this thesis was to select which facts expressed in a variant form would be analyzed. Next it was to define the necessary coordinates to be able to measure these factors. Because of that was developed an Expert System on 7.0 Delphi language, which from the coordinates analyzes the service and determines how each factor was performed to obtain the fastest. For that, the system creates a decision tree after analyzing many different service repetitions of the same athlete using the C 4.5 software, and it also does a search for a regressive sequence to define a pattern for this athlete. So, every time the player performs a new service this one will be compared with the pattern and then the differences will be pointed out. The

pattern will be updated every time the athlete performs a service that had better results than the ones already performed.

# Capítulo 1

## Introdução

A Inteligência Artificial fornece métodos e técnicas para o desenvolvimento de programas que simulam nas máquinas comportamentos inteligentes. Para conseguir alcançar seu objetivo, ela tornou-se um campo de estudo interdisciplinar que se apóia no conhecimento e evolução de outras áreas. Assim, esta parte da informática torna-se muito atrativa para o desenvolvimento de pesquisas e aplicações que envolvam múltiplas disciplinas.

Entre as diversas áreas em que a Inteligência Artificial pode ser utilizada como uma metodologia de apoio, podemos citar a do movimento humano. Este pode ser analisado para diversas finalidades: médica, desportiva, adaptativa, etc.. Aqui será então explorado o estudo da análise desportiva do movimento, pois apesar de ser aparentemente simples de se compreender, as habilidades<sup>1</sup> desportivas são extremamente complexas e os profissionais que trabalham com elas carecem de metodologias mais sofisticadas para se aperfeiçoar.

A informática tem representado uma ajuda muito eficaz para diversos setores, entretanto na atividade física ela ainda não é tão expressiva. Isto se deve também ao fato de que, os equipamentos e softwares para esta área são ainda raros, ou muito dispendiosos. Para ajudar a diminuir esta lacuna, surgiu a proposta desta dissertação.

Ao dizer que um sistema para análise do movimento desportivo será estudado, estamos dando uma amplitude muito grande a ele, pois precisamos ter em mente que existem

---

<sup>1</sup> O termo habilidade foi utilizado por Gerry Carr [CAR98] para descrever o conjunto dos diversos movimentos que compõem uma determinada ação efetuada com técnica dentro de um desporto. Por exemplo, os golpes do ténis, os passes no futebol, as braçadas na natação, etc

inúmeros desportos e cada um com suas características próprias que precisam ser analisadas de forma específica, faz-se necessário então que seja dado um escopo para este trabalho que será o desporto “tênis”.

Assim, utilizando em conjunto os fundamentos da área desportiva e da Inteligência Artificial, será construída e mantida uma base de conhecimento sobre o serviço do tênis, que fornecerá informações sobre como o tenista deve executar seu serviço para que consiga melhorar seu desempenho.

### 1.1. Desafio

Desenvolver um sistema que baseado nos conhecimentos da Inteligência Artificial de representação do conhecimento e de Aprendizagem de Máquina (*Machine Learning*) e buscando subsídios na Biomecânica, venha analisar tecnicamente uma habilidade desportiva. Esta análise deverá ser realizada em um conjunto de repetições de uma mesma habilidade desportiva executadas por um mesmo atleta, afim de gerar um comparativo biomecânico entre a última e a melhor execução.

Muito amplo e impossível de se desenvolver é um sistema que analisa toda e qualquer habilidade desportiva. Faz-se necessário que se escolha um desporto para ser analisado e dentro deste, tendo em vista que cada um deles apresenta inúmeras habilidades, uma específica. No desporto escolhido, tênis, a habilidade selecionada foi o serviço <sup>2</sup>.

Assim será desenvolvido um sistema que, utilizando técnicas de Inteligência Artificial, analise tecnicamente por meio de dados biomecânicos o serviço do tênis, fornecendo subsídios para que o atleta encontre os pontos fracos de sua execução.

É importante que ressaltemos aqui que o sistema a ser desenvolvido, por se tratar de algo novo no cenário dos sistemas para a área desportiva, servirá de modelo para que outros sistemas sejam desenvolvidos com o mesmo objetivo, porém, para outras habilidades e também para os mais diversos desportos.

---

<sup>2</sup> O saque, também chamado de serviço no tênis, é o primeiro golpe que ocorre no jogo e o que inicia todas as jogadas.

## 1.2. Motivação

Quando vemos o quanto a informática tem ajudado a desenvolver a sociedade moderna nos sentimos motivados a procurar áreas que ainda carecem dessa ajuda. O desenvolvimento humano é uma dessas áreas.

O desporto é reconhecido mundialmente como uma atividade que desenvolve não só o físico mais também o lado emocional do indivíduo. Ele é utilizado para atrair crianças e adolescentes para um mundo mais saudável. Em um país cheio de problemas sociais como o nosso, muitos já descobriram que incentivar os jovens a sair das ruas e entrar em quadras tem se mostrado muito eficiente. Por ser praticado em locais geralmente amplos, alegres e quase sempre num clima de divertimento ele tem um forte apelo junto aos jovens, mas sem dúvida o maior encanto do desporto é o seu lado competitivo.

As competições são o grande atrativo para quem pratica algum desporto. Elas podem ser desde simples confrontos entre integrantes de um mesmo time ou entre times de um mesmo bairro. O importante é o intenso envolvimento que ela causa entre todos, o grupo se une para vencer. Mas o desportista para estar sempre motivado, deve poder ver que na frente sempre existirão competições maiores a serem vencidas, ninguém se mantém motivado sempre com as mesmas competições e é preciso sempre buscar maiores desafios. Quem serve de propaganda fazendo o melhor *marketing* dos desportos e dos títulos que eles podem lhe dar, são os ídolos do esporte.

Atletas vencedores, ganhadores de muitas medalhas, reverenciados pela mídia e olhados por todos como possuidores de habilidades relegadas a poucos, os ídolos do esporte são exemplos de vida que estimulam muitos a tentar seguir seus passos. Entretanto, quando falamos em ídolos nos referimos a atletas que disputam competições internacionais onde o nível técnico é altíssimo, que passam por treinamento intensivo com a utilização de equipamentos de altíssima tecnologia. Assim, nossos atletas para estarem em condições de chegarem ao podium necessitam ter as mesmas condições de treinamento que atletas de outros países, portanto precisam além do potencial humano de tecnologia.

Desta forma, nos sentimos motivados a investir em pesquisa na área da informática aplicada a área do desporto, mostrando novos campos, onde, particularmente, a Inteligência Artificial pode ser aplicada gerando o seu próprio desenvolvimento e o das áreas na qual é aplicada.

### 1.3. Cenário

O tênis sempre teve destaque nas quadras de todo o mundo. Entretanto aqui no Brasil, ele se restringia a um seleto grupo de pessoas com alto poder aquisitivo que praticavam este esporte por considerá-lo “chique”. Nas últimas décadas entretanto, os clubes passaram a divulgá-lo, fazendo com que muito mais pessoas passassem a praticá-lo, porém ele continuou a ser muito pouco divulgado, principalmente pela mídia televisiva. Este panorama mudou após os diversos títulos conquistados pelo tenista Gustavo Kuerten que despertou a atenção de todos para este esporte, surgindo então o que hoje chamam de “Era Guga”. É preciso também salientar que diversos outros brasileiros já foram consagrados a nível mundial, como por exemplo Maria Esther Bueno que foi finalista por cinco vezes do Torneio de Wimbledon, sendo destas, três vezes campeã; cinco vezes finalista do Aberto dos Estados Unidos, sendo destas, quatro vezes campeã; e uma vez campeã do Aberto da Austrália.

Em declarações na IV Jornada Internacional de Treinamento e Organização de Tênis, realizada em 2001 na cidade de Florianópolis no estado de Santa Catarina, divulgou-se que o tênis já é o terceiro esporte mais praticado no mundo, atrás somente das corridas no atletismo e do futebol. No Brasil podemos observar que ele está sendo “descoberto” pelos seguintes fatores:

- no conhecimento que a população possui hoje em dia (regras, data de campeonatos, dia de jogos), que até há pouco tempo era praticamente desconhecido da população;
- nas novas escolas de tênis que surgiram;
- nos diversos núcleos de estudo do tênis que surgiram nas universidades, podendo citar como exemplo o da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), que é considerado centro de excelência no Brasil;
- na prática deste esporte inclusive entre deficientes físicos;
- no número de praticantes;
- no número de transmissões de jogos; e
- até na prática deste desporto em escolas municipais.

O tênis é um jogo milenar [VAZ80]. Acredita-se que ele já era praticado por gregos e romanos com o nome de “paume”, nome dado pelo fato da bola ser batida com a palma da

mão contra o muro. No século XII, o jogo sofreu grandes alterações em suas normas e obteve grande difusão pela França onde já existiam mais de 2.000 salas de jogos. Este jogo foi praticado por reis e rainhas e era muito difundido na nobreza. Foi o major do exército britânico Walter Clopton Wiefield [VAZ80] que, ao patenteá-lo em 1874 sob a forma de um desporto sem paredes laterais e praticado ao ar livre, o difundiu pela classe média. Hoje em dia este desporto consegue atrair milhares de pessoas para seus estádios ou mesmo para frente das televisões.

Para entender melhor este trabalho é necessário saber um pouco sobre este desporto. Começaremos então falando sobre a quadra. Como podemos observar na figura a seguir, a quadra de tênis é um retângulo, com as seguintes medidas: 23,77m de comprimento por 8,23m de largura para simples e 10,97m de largura para duplas. Ela é demarcada por linhas laterais e de fundo, paralelamente à rede e de ambos os lados, estão às linhas de serviço, que ficam a uma distância de 6,4m. O espaço existente entre a linha de serviço e a rede é dividido ao meio no sentido perpendicular a rede (entre as linhas laterais), formando assim os retângulos do serviço. A altura da rede central é de 0,914m sendo suspensa por um cabo metálico com aproximadamente 0,8cm de diâmetro, quando a quadra é usada para jogos de simples e de duplas, deverá ter dois postes de sustentação de rede, os chamados “paus de simples”, com uma altura de 1,07m.

A quadra pode ser de cimento, a qual é chamada de pista rápida ou dura, ou de saibro, chamada de lenta e ainda pode ser de carpê, além disso existem pistas cobertas e ao ar livre. O tipo da quadra vai influenciar diretamente na técnica do jogador.

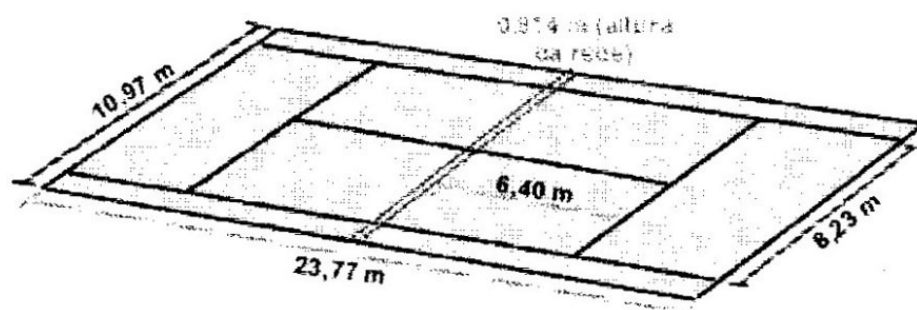


Figura 1.1: Dimensões da quadra de tênis.

Quanto ao jogo ele pode ser disputado em simples ou em duplas<sup>3</sup>. Ele tem sua preparação, indiferente se joga um ou dois atletas em quadra, com um aquecimento de 5 minutos onde os atletas praticam todos os golpes<sup>4</sup>. Em seguida a raquete é girada ou uma moeda é atirada para decidir quem vai começar servindo<sup>5</sup> ou recebendo<sup>6</sup>. O sacador então se posiciona entre as linhas demarcatórias de centro e lateral de simples, e atrás da linha de base, sem pisar ou ultrapassar a mesma antes de golpear a bola. Para o serviço ser considerado válido, a bola deve atingir a quadra de serviço do adversário diagonalmente oposta a sua posição. Se ao executar o primeiro serviço o mesmo não for considerado válido o tenista tem a chance de executar o segundo, errando os dois é considerado dupla falta e o adversário ganha o ponto. Ao ocorrer um serviço válido o recebedor deve golpear a bola de volta, dando assim continuidade a partida.

A contagem de pontos também é muito diferenciada[AME99]. O primeiro ponto a ser mencionado no placar é sempre do jogador que está servindo e ela segue da seguinte forma: zero(0), quinze (15) o primeiro ponto, trinta(30) o segundo ponto e quarenta(40) o terceiro ponto, o próximo ponto dará ao seu jogador o *game*. Para vencer o *game* a diferença deve ser de no mínimo dois pontos, caso o número de pontos empate em 30 ou 40 diz-se *deuce*, e se o primeiro ponto seguinte for do sacador será chamado *ad in* se for do recebedor *ad out*, e em havendo novo empate voltam para o *deuce*. Após terem sido jogados 12 *games* o tenista que tiver vencido o maior número ganhará o set, e se estiverem empatados será disputado o *tiebreak* que é um *game* especial que decide de quem é o set. Este *game* acaba quando um dos jogadores chega a doze pontos (contados corridos de 1 a 12) ou até que um deles obtenha 7 pontos com uma diferença mínima de 2 pontos. Os jogos podem ser decididos em 3 ou em 5 sets.

O jogo de tênis é composto por muitos golpes, e o bom desempenho de um tenista depende do controle e da regularidade dos mesmos [DTB79]. Podemos destacar entre eles:

---

<sup>3</sup> Para este trabalho nos concentraremos somente nas partidas de simples, com um só jogador contra outro, pois além de ter poucas diferenças para as de duplas quanto a prática e as regras, se torna irrelevante a diferença para o resultado do mesmo

<sup>4</sup> Nome dado a habilidade desportiva característica de cada desporto

<sup>5</sup> O atleta que através da habilidade desportiva serviço coloca a bola em jogo vai servir.

<sup>6</sup> O atleta adversário do que está servindo está recebendo.

- *drive* – Golpe executado, com a mão hábil, depois que a bola pingou;
- *backhand Ou Revés* - Golpe que é executado quando o tenista recebe a bola do lado contrário a sua mão hábil;
- *drop-Shot* - Golpe no qual a bola pinga próxima à rede, é vulgarmente chamado de deixada;
- *smash* – Golpe de resposta a uma bola alta, é dito também ser o contragolpe do *lob*;
- *lob* – Golpe que encobre o adversário quando este está se aproximando da rede;
- *voleio* – Golpe efetuado geralmente próximo da rede, antes que a bola pingue; e
- **serviço ou saque** – Com este golpe abre-se o jogo. Seu alvo é a área de serviço que fica no campo oposto em sentido diagonal.

Para este estudo vamos nos aprofundar mais no golpe que inicia o jogo, o saque ou serviço. Segundo Fonseca Vaz [VAZ80] “o Serviço é, sem dúvida, o golpe mais difícil do tênis, porém muito mais eficiente quando bem executado, isto é, com força e colocação. Basta dizer que o jogador que executa bem o serviço domina o jogo”. O serviço, que sem dúvida necessita de uma grande técnica por parte dos jogadores [DTB79,], “... é do início ao fim um movimento constante, harmônico e ininterrupto, alcançando ao término sua aceleração máxima”. Uma característica do saque que o diferencia de todos os outros golpes do tênis é que, por não ser uma devolução, ele é considerado uma habilidade desportiva fechada, isto é, ele depende exclusivamente da habilidade de quem está executando e não de como a bola chega até ele.

Este golpe pode ser dividido em três fases:

- **movimento preparatório** - começa com a mão esquerda descendo um pouco até a coxa e então subindo ligeiramente e esticando-se ao máximo para arremessar a bola ao alto, concomitantemente baixa-se o ombro direito. A bola deve subir cerca de 50 cm para cima e 30 cm para o lado esquerdo do corpo que será então o ponto para o golpe. Ao mesmo tempo o braço que está com a raquete faz um arco para baixo e para trás seguindo ao longo do lado

direito do corpo com pouca velocidade e então executa um arco nas costas impelindo a pelve para frente e o tronco dobrado para trás, o que preparará a tensão do corpo para golpear a bola. O peso do corpo durante o início desta fase é transferido para o pé que está atrás com os joelhos estando dobrados ficando o jogador de costas para a rede com o giro do tronco, pouco antes da bola deixar a mão o peso do corpo é transferido para o pé direito e a perna é esticada;

- **movimento de golpe** – quando a bola está no ponto mais alto será golpeada com o tronco sendo esticado para frente junto com o braço direito e com o giro do corpo sobre o pé esquerdo colocando o jogador de frente para a rede. O movimento para frente força que o corpo seja apoiado na ponta dos pés. A raquete deve ser acelerada no último momento; e
- **movimento final** – coloca-se a perna direita à frente deslocando-se junto o peso do corpo terminando a raquete naturalmente no lado esquerdo do corpo com o antebraço esquerdo dobrado em frente ao estômago.

Assim, segundo a federação alemã de tênis [DTB79], o caminho que a raquete faz durante o serviço é o seguinte:

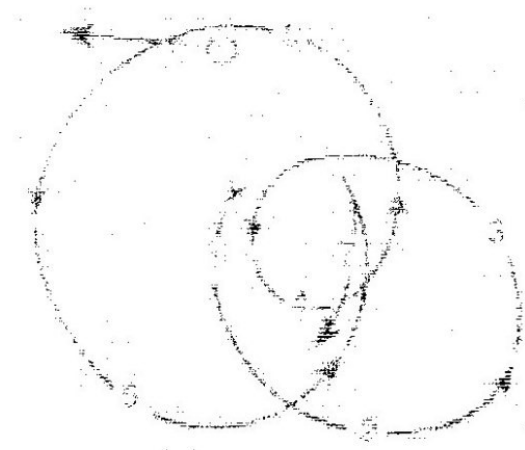


Figura 1.2: Movimento da raquete de tênis.

- 1- ponto de partida,
- 2- ponto mais baixo do arco inicial,
- 3- ponto à altura do ombro em que o cotovelo é dobrado,
- 4- ponto mais baixo da curva dada atrás das costas,
- 5- momento do golpe,
- 6- ponto mais baixo do movimento final atrás do corpo, e
- 7- ponto mais alto do movimento final atrás do corpo.

A forma de executar o serviço descrita acima é considerada padrão, porém sofre alterações de atleta para atleta conforme a técnica individual. Mas, um detalhe deve ser observado por todos, que ao termino do golpe o jogador esteja posicionado estrategicamente para ir ao ataque, isto é, que ele esteja em posição de equilíbrio e voltado de frente para a quadra pronto para devolver o golpe que o adversário executou em resposta ao seu saque [BRO00].

Na figura 1.3 temos um exemplo de como executar o serviço [KNU01].

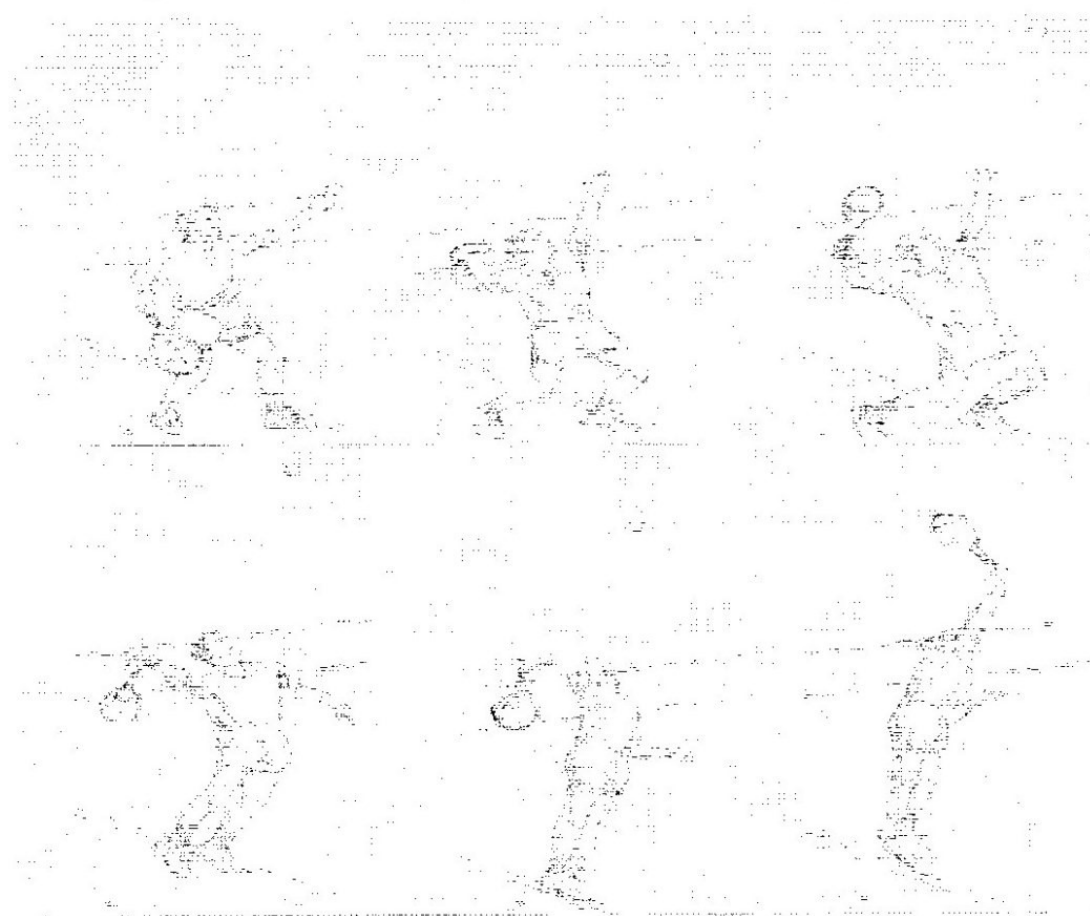


Figura 1.3: exemplo de execução do serviço.

Existem diversos tipos de saque, os quais destacamos:

- **slice** – para executá-lo o jogador lança a bola ao ar sobre o lado direito e ligeiramente adiante do corpo; a bola é lançada por cima da cabeça do servidor, e então ele deve golpear a bola com um movimento de cima para baixo. É o chamado saque cortado. A bola deve obter efeito fazendo com que ela saia girando e ao tocar no solo saia pela lateral;
- **liftado** – neste golpe o atleta deve dar um efeito *top-spin* na bola, isto é, deve ser dado por cima da bola;
- **chapado ou flat** – quando a bola é lançada por cima da cabeça do servidor e atacada normalmente. Para este serviço ser considerado eficiente o mais importante é a velocidade que a bola adquire tomando sua interceptação pelo adversário muito difícil, ele não causa efeito na bola. Normalmente quando bem executado este tipo de saque resulta em um ace<sup>7</sup>, por isso, e também por ser considerado de difícil execução, ele normalmente é utilizado no primeiro serviço.

Para demonstrar a importância que o serviço tem durante uma partida de tênis, apresentamos o quanto esta habilidade motiva estudos, citando como exemplos dois estudos publicados na revista *Perceptual and Motor Skills*: um com o título de “*Effects of the Five-step Strategy with videotape Modeling on performance of the Tennis Serve*” [BOU98] que analisa os resultados obtidos no treinamento do serviço no tênis levando em consideração os efeitos psicológicos de duas diferentes técnicas, uma utilizando meios audiovisuais e a outra com simples instrução; e outro o artigo “*Diurnal Variation in Tennis Service*” [ATK98] onde se comprovou que velocidade e precisão do serviço no tênis não caminham linearmente, e que a precisão decresce quanto mais avançada for a hora do teste, isto é, se o teste for feito de manhã os atletas apresentaram melhores resultados do que à tarde ou à noite.

---

<sup>7</sup> Ace- “Um saque executado de tal modo que o receptor não consegue tocar a raquete na bola. [BRO00]

## 1.4. Objetivos

### 1.4.1. Geral

Esta dissertação, por meio de metodologias de Inteligência Artificial, particularmente as de Aprendizagem de Máquina (*Machine Learning*), propõe e concretiza, através de um protótipo baseado em recursos computacionais, um sistema de análise de desempenho de um atleta executando o movimento do serviço *flat* no jogo de tênis.

### 1.4.2. Específico

Como objetivos específicos, para alcance do objetivo geral, o sistema de suporte à análise:

- identifica, para um determinado tenista, quais as métricas necessárias para que ele execute o seu serviço padrão, isto é, a forma como o tenista executa o serviço obtendo sua melhor performance. Assim, cada vez que o mesmo executar o serviço, o sistema deverá ser capaz de compará-lo com o seu respectivo padrão, identificando então, em qual ou quais momentos o posicionamento do atleta está alterado no novo serviço em relação ao padrão armazenado. Da mesma forma o sistema fornecerá uma comparação com o pior serviço;
- informa os posicionamentos diferentes que foram detectados e, baseado na probabilidade de acerto calculado, apresenta qual dos posicionamentos teve maior influência sobre o desempenho do atleta; e
- atualiza o serviço padrão de acordo com as sucessivas repetições que forem sendo armazenadas, mantendo assim sempre atualizada a base de informações para que a mesma esteja sempre de acordo com o desenvolvimento técnico do atleta.

## 1.5. Estado da Arte

Ao começar este trabalho na tentativa de criar e desenvolver novos recursos unindo duas áreas de conhecimento distintas, biomecânica e ciência da computação, sendo que dentro da ciência da computação mais especificamente Inteligência Artificial. Deparamos com a inevitável necessidade de se conhecer os esforços de outros estudiosos voltados para o desenvolvimento das áreas envolvidas, e conseqüentemente dos estudos que uniram ambas.

Quando se pesquisa a bibliografia em biomecânica nos deparamos com inúmeras revistas, jornais, livros e conferencias dedicados a esta ciência. Mas porquê tanto interesse? No mundo atual para um país se destacar nos esportes ele precisa investir também em pesquisa. O nível dos atletas, cada vez mais elevados, obriga seus técnicos a se especializarem cada vez mais em áreas como nutrição desportiva, psicologia desportiva, e principalmente em biomecânica. Além de sua utilização nos desportos a biomecânica também vem se destacando por ser de grande utilidade para a análise do movimento humano em geral, o que a torna indispensável quando falamos em reabilitação motora, análise de pessoas com próteses e também em análises posturais.

Os dois artigos a seguir são exemplos da utilização da biomecânica para análises de atividades diárias:

- “*Mechanical Energy Differences between Walking and Running at Different Velocities on a Treadmill*” [COR98], publicado no IBS'98 e desenvolvido por pesquisadores brasileiros e alemães, tem por objetivo descrever, analisar e comparar a curva de gasto de energia mecânica (energia total, interna e externa) em mulheres correndo e andando; e
- “Estudo Dinamométrico da Descida de Degraus de Grandes Alturas” [ROE01], publicado no IX congresso Brasileiro de Biomecânica e desenvolvido no Centro de Educação Física e desporto(CEFID) da Universidade Para o Desenvolvimento do Estado de Santa Catarina (UDESC) estuda o subir e descer degraus, analisando os parâmetros biomecânicos que envolvem este movimento. A finalidade é verificar as possíveis implicações músculo-esqueléticas advindas de tal prática, como, por exemplo, à dor anterior do joelho, fornecendo dados para questionar a

necessidade da existência de normas para os projetos de criação de tais obstáculos ou pelo menos alertar os usuários quanto aos seus riscos.

Como exemplos de estudos em biomecânica voltados para a área do desporto temos:

- “Análise Automática de Deslocamento de Jogadores de Futebol” [MIS01] desenvolvido na Universidade de Campinas (UNICAMP) e publicado no IX congresso de biomecânica que visa obter automaticamente dados contínuos sobre posição, velocidade e aceleração de jogadores de futebol em função do tempo. Para tanto se desenvolveu um software que rastreia automaticamente o posicionamento dos jogadores em registros da partida obtidos por meio de câmeras de vídeo digitais; e
- “*Fluid Mechanics Analysis in Volleyball Services*” [DPR98] , publicado no ISBS’98 e desenvolvido na Universidade estadual de Campinas e Universidade Estadual de Maringá. onde foi verificado a influência do ar, onde é considerado fluido mecânico, na trajetória da bola em serviços no jogo de tênis. Para este estudo diversos serviços foram filmados e através de suas coordenadas cartesianas, calculado a velocidade e a aceleração da bola.

Aliada a grande variedade de campos nas quais a biomecânica pode ser aplicada podemos destacar também o grande avanço tecnológico dos instrumentos dedicados a esta área. Citaremos como exemplo o trabalho “Instrumentação Biomecânica Integrada em Computador Baseada na Ferramenta Labview” [CAR01] publicado no IX Congresso Brasileiro de Biomecânica e desenvolvido na Universidade de Brasília (UnB) que descreve o desenvolvimento de uma interface interativa capaz de capturar, visualizar e armazenar sinais eletromiográficos em uma plataforma *Windows*. Ela deverá ser utilizada tanto para a otimização do desempenho de atletas quanto para a orientação na recuperação de indivíduos com traumatismos físicos.

O avanço tecnológico é tão grande que tem inclusive despertado o interesse em estudar se estas novas tecnologias estão sendo utilizadas de forma útil e correta. Temos como exemplo um estudo publicado na Revista Portuguesa de Ciências do Desporto [GAR01] que evidencia o atual progresso tecnológico na área de sistemas de observação para análise de

muitos anos depois, constatamos que este campo continua despertando, e muito, o interesse de estudiosos. Um número inteiro da revista *Artificial Intelligence* [AI02] foi dedicado a artigos que descreviam como técnicos de Inteligência Artificial tem desenvolvido cada vez mais jogos, com maiores desafios, sendo que muitos bilhões de dólares têm sido gastos em pesquisas nesta área. A revista destaca que isto é uma grande chance para o desenvolvimento da I.A., pois os jogos precisam tornar-se cada vez mais reais e para isso eles se utilizam muita interatividade que deve vir acompanhados de características humana e uma inteligência, pois são estes fatores que estimulam o seu consumo. Existe porém uma carência na pesquisa desta área fazendo com que muitas empresas tenham ultimamente investido muito. Dessa forma, apesar do investimento ser direcionado para o desenvolvimento de jogos ele acaba colaborando para o desenvolvimento de todos os campos da IA.

Mas óbvio que não é só na área dos jogos que a I.A. vem se desenvolvendo. O *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence* publicou uma edição especial [IJP00] onde destaca os cinco artigos considerados de maior relevância publicados no XII *International Florida AI Research Society Conference (FLAIRS - 99)*. Assim, por se tratar de uma edição que publicou trabalhos apresentados em um congresso ele abre um leque de opções sobre Inteligência Artificial. O primeiro artigo selecionado trabalha com processamentos de linguagem natural e base de dados, nele foi descrito como foi desenvolvido um sistema para automatizar a aquisição de um *sense tagged corpora* usando interpretações do *wordNet* e pesquisas na internet para solucionar problemas de ambigüidade da língua. No segundo artigo é relatado como o uso de *frameworks* culturais de alta adaptação, dependendo do tipo de conhecimento usado e da estrutura do problema, podem melhorar substancialmente o tempo de execução e a precisão em algoritmos culturais usados em *population-only*. No terceiro artigo é apresentada uma teoria geral de compilação de função livre de primeira ordem da teoria de Horn em lógica proposicional fazendo com que o melhor das duas teorias seja disponível para resolver problemas de IA. No quarto artigo é discutida a divisão de um problema em três assuntos práticos que serão tratados por uma aplicação de *Multiply Sectioned Bayesian Networks (MSBN)* em um sistema distribuído multiagente para construir um grande sistema de diagnóstico. E no quinto e último artigo é proposta uma arquitetura baseada em conhecimento que fornece cooperatividade de base de dados relacionais fornecendo uma interface amigável favorecendo seu uso sem que haja a necessidade de se conhecer a estrutura da mesma nem a sintaxe da linguagem. A arquitetura

proposta usa duas bases de conhecimento separadas, uma para descrever o domínio da aplicação e uma outra que fornece um ambiente cooperativo.

Outro trabalho publicado que podemos referenciar foi o “*Gasrule For Knowledge Discovery*” publicado na revista *Applied Artificial Intelligence* [BIN03]. Este artigo apresenta um novo método para extração de regra estrutural e descoberta de conhecimento por meio de *Structural Galois Lattice* e algoritmos genéticos. O estudo sintetiza a aprendizagem simbólica em extração de característica em um pré-processo com aprendizagem simbólica e em um pós-processo por extração de regras. *Structural Galois Lattice* foi usado para representar padrões estruturais, executar a tarefa de classificação, e extração de características. Estes padrões estruturais foram descritos através de gráficos etiquetados. O método proposto, *GasRule*, está baseado em algoritmos genéticos que foram adaptados para 1) permitir o reconhecimento de padrões ; 2) preservando a sintaxe e a semântica do contexto de descrição; e 3) avaliar conjuntos de regra para descoberta de conhecimento e desenvolver novos conjuntos de regras para predição. O objetivo da experiência era extrair regras estruturais em reconhecimento de padrão estrutural. As experiências foram baseadas nos exemplos de definição de arco que é extensamente usado em aprendizagem de máquina.

No “*Software Quality Journal*” [ZHA03] temos um artigo que trata do assunto de aplicar Aprendizagem de Máquina em engenharia de software. O trabalho, primeiro fornece algumas características e aplicabilidade de alguns algoritmos utilizando Aprendizagem de Máquina. Ele então resume e analisa o trabalho existente e discute alguns assuntos gerais nesta área. Finalmente ele oferece algumas diretrizes em aplicar métodos de Aprendizagem de Máquina para engenharia de *software*, e usa alguns *softwares* de desenvolvimento e de criação de tarefas, como exemplos.

Quando pensamos em conhecimentos desportivos e na Inteligência Artificial podemos imaginar que estes dois assuntos nada tem em comum, entretanto nos últimos anos muito esforço tem sido gasto na tentativa de melhorar o desempenho de análises usando a Inteligência Artificial . Isso fica muito claro quando lemos artigos como o publicado no “*International Journal of Performance Analysis in Sport*” [PER01], que narra um estudo sobre um sistema para descrever, analisar, e avaliar processos de aprendizagem contínua em jogo esportivos. Ele consiste de um *dynamically controlled network* (DYCON ) formado por um KFM convencional combinado com um controle neuro-dirigido de tempo-independente: Cada neurônio é embutido em um sistema de controle de potencial de desempenho dinâmico

que foi desenvolvido para análise e controle da adaptação de processos fisiológicos em esporte. Assim, DYCON pode apoiar o estudo de processos em jogos desportivos de um modo mais fácil e mais eficiente. Além disso, pode ajudar a analisar mudanças táticas de um time durante uma estação ou até mesmo durante um torneio.

Outro artigo publicado na revista "*Clinical Biomechanics*" [SAV99] descreve um estudo onde se verifica a possibilidade de uma rede neural artificial poder ser usada para determinar os componentes de força horizontal da reação do solo diante da pressão padrão da sola de calçados quando o desportista está em diferentes velocidades. Puderam os pesquisadores então concluir que embora os resultados relacionaram à forma das curvas de energia mecânica do caminhar e correr já seja uma questão de consenso no campo da biomecânica, os resultados numéricos ainda estão aberto à discussão o que significa que novos estudos continuaram sendo feitos nesta área. Encontramos inclusive um artigo publicado no "*Journal of Medical Systems*" [ZEL97] onde um sistema une Inteligência Artificial, Esporte e Medicina. Nele vários algoritmos de Aprendizagem de Máquina foram usados para extrair conhecimento de diagnóstico de dados armazenados em bancos de dados médicos que foram usados para apoiar a diagnose de danos desportivos. Os métodos aplicados incluem variantes do algoritmo de indução *top-down* de árvores de decisão, e variantes de classificadores *Bayesian*. A base de dados disponível era insuficiente para diagnose fidedigna de todos os danos de esportes considerados pelo sistema. Por conseguinte, foram somadas regras de diagnóstico definidas pelos peritos que foram usadas como pré-classificadores ou como geradores de instâncias de treinamento adicionais para diagnoses para as quais só alguns exemplos de treinamento estavam disponíveis, chegando a espetaculares resultados.

No Brasil esta tendência não é diferente. Na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) foi desenvolvido um sistema para auxílio na avaliação física de árbitros de futebol utilizando redes neurais. Este projeto, publicado na Revista Brasileira de Ciências do Esporte [VAL99], foi desenvolvido utilizando rede neural artificial com algoritmo de treinamento de *backpropagation* utilizando para a implementação da rede a *Shell MATLAB for windows*. Os pesquisadores chegaram a uma solução satisfatória para o processo de avaliação com o uso desta técnica, pois forneceram resultados confiáveis em tempo reduzido e economizando custos de processamento computacional.

Após verificarmos todos estes estudos podemos concluir que nos últimos anos muito esforço tem sido gasto para os avanços na área da biomecânica e da Inteligência Artificial, e

que em conjunto os conhecimentos da ciência da computação e da biomecânica, podem nos fornecer estudos muito mais avançados no campo das análises gerando um avanço em diversas áreas do conhecimento.

## **1.6. Organização**

Visando dar uma forma lógica e seqüencial ao trabalho desenvolvido, estruturou-se esta dissertação em seis capítulos da forma que se segue:

Nos capítulos 2 e 3 são abordados todos os conceitos relevantes das áreas de atuação desta dissertação que constituem a fundamentação teórica da mesma. No capítulo 2 é apresentado o estudo realizado na área de biomecânica, cujo objetivo principal foi obter fundamentação na área de análise do movimento desportivo. No mesmo são apresentados trabalhos desenvolvidos nesta área e que demonstram como nas últimas décadas a biomecânica vem despertando o interesse dos pesquisadores. No capítulo 3 a fundamentação teórica na área de Inteligência Artificial, e dentro desta é dado um enfoque à área de Aprendizagem de Máquina e de Sistemas Inteligentes, sobre as quais a análise e o sistema proposto neste trabalho foram implementados. São também mostrados trabalhos desenvolvidos em informática com enfoque para a análise de movimentos.

No capítulo 4 é descrito em detalhes o modelo proposto para o sistema, mostrando passo a passo o estudo que proporcionou a análise do trabalho. Mostrou-se aqui onde e como os estudos prévios dos conceitos de biomecânica e de Inteligência Artificial foram utilizados.

No capítulo 5 são apresentados o sistema e as conclusões obtidas através de sua implementação e de testes.

E finalmente no capítulo 6 são discutidas as conclusões sobre este trabalho e são dadas sugestões para trabalhos futuros.

## Capítulo 2

### Biomecânica

Há muito que os profissionais envolvidos com o desporto vem se preocupando em analisar os movimentos humanos. Nos atuais cursos de educação física é ministrada uma disciplina chamada cinesiologia. Esta disciplina engloba segundo Susan Hall [HAL00] todos os sub-ramos que estudam o movimento humano, que são: Educação Física adaptativa, Biomecânica, Fisiologia do exercício, comportamento motor, pedagogia, a arte no esporte, a história do esporte, a fisiologia do esporte, a psicologia do esporte e a sociologia do esporte[SET88]. Dentre todos estes sub-ramos o que vai influenciar este trabalho é a biomecânica.

“A biomecânica é uma ciência que examina as forças internas e externas que atuam no corpo e seus efeitos” [HAY98], ela utiliza os instrumentos da física, mais especificamente da mecânica, que analisa as ações das forças no estudo de aspectos anatômicos e funcionais dos organismos vivos [HAL00]. Esta ciência é utilizada principalmente por treinadores que trabalham com atletas de alto índice técnico, eles a utilizam para melhorar o desempenho de seus atletas.

Veremos a seguir neste capítulo os principais conceitos da biomecânica e a sua utilização para análise dos movimentos.

#### 2.1. Conceitos

Para melhor compreender a biomecânica é necessário antes conhecer alguns princípios básicos que a regem:

### 2.1.1. Formas de Movimento

Basicamente todo movimento pode ser descrito como [PAL98]: **translação**, um movimento linear que ocorre quando todo o corpo percorre exatamente a mesma distância, na mesma direção e ao mesmo tempo; **Rotação**, um movimento angular que ocorre quando todo corpo se desloca através do mesmo ângulo, na mesma direção e ao mesmo tempo; ou uma combinação destas duas formas chamado de **Generalizados**, que são uma combinação de vários tipos de rotação ou de translação, ou de ambos combinados e são muito mais comuns de serem encontrados do que os puros.

### 2.1.2. Cinemática

Estuda a descrição do movimento dos corpos. Ela está dividida em [HAM99]: **Cinemática Linear** que estuda os movimentos de translação. Os valores cinemáticos são chamados de escalares quando são avaliados apenas por sua magnitude: distância, velocidade e aceleração; e os que necessitam de magnitude e direção são chamados vetoriais: deslocamento e trajetória; e **Cinemática Angular** que estuda os movimentos de rotação. Estuda os diversos ângulos e suas variações, formados durante os movimentos: distância angular, velocidade angular, aceleração angular e vetores do movimento angular.

### 2.1.3. Cinética

Estuda a causa dos movimentos, o que faz com que eles ocorram. São basicamente os mesmos princípios que regem a mecânica. Ela está dividida em [HAM99]: **Cinética Linear**, quando explica as causas dos movimentos lineares. Podemos citar como exemplo inércia, massa e força; e **Cinética Angular**, quando explica as causas dos movimentos angulares. Podemos citar como exemplos: forças excêntricas e momento.

### 2.1.4. Mecânica dos fluidos

O meio ambiente [HAL00] onde a atividade desportiva é realizada, apresenta para o atleta e para os equipamentos que ele venha a utilizar uma resistência. No caso de atividades aquáticas, como nado e pólo, o fluido será a água, a qual apresenta a maior resistência à execução de movimentos, nas demais atividades o fluido será o ar. Existem também

atividades como canoagem onde o fluido será uma combinação de ambos, água e ar [HAY85].

Em algumas atividades desportivas como, por exemplo, luta greco-romana ou basquete, os efeitos produzidos pelo meio ar podem ser desprezados por serem muito pequenos, pois são realizadas em ambiente fechado. Já no futebol ou golfe a bola pode ter sua velocidade tanto duplicada como diminuída pela metade, dependendo da ação do vento favorável ou contrário ao sentido que a bola foi lançada.

No caso do tênis, existem jogos que são realizados em quadras fechadas e em quadras abertas. Em quadras fechadas (em ginásios) a ação do ar pode ser desprezada por ter uma ínfima importância na velocidade e trajetória final da bola. No caso de quadras abertas a direção do vento será de fundamental importância.

#### 2.1.5. Planos

Planos são linhas imaginárias que dividem a estrutura corpórea em duas hemipartes que descrevem a linha de trajetória do movimento. Os planos são classificados em quatro tipos [FOR01]:

- **sagital**, é vertical e divide o segmento em duas hemipartes (direito e esquerdo), onde o deslocamento do segmento descreve uma trajetória perpendicular ao solo de posterior para anterior e vice-versa;
- **frontal**, é vertical e divide o segmento em duas hemipartes (antero-posterior), onde o deslocamento do segmento descreve uma trajetória perpendicular ao solo de látero para lateral ou vice-versa;
- **transverso**, é horizontal e divide o segmento em duas hemipartes (superior e inferior), onde o deslocamento do segmento descreve uma trajetória paralela ao solo de medial para lateral ou vice-versa; e
- **oblíquo**, é definido a partir da combinação de dois ou mais planos, onde o deslocamento é resultado da somatória das direções de forças de dois ou mais movimentos, onde o deslocamento do segmento descreve uma trajetória oblíqua ao solo de caudal para cranial e vice-versa.

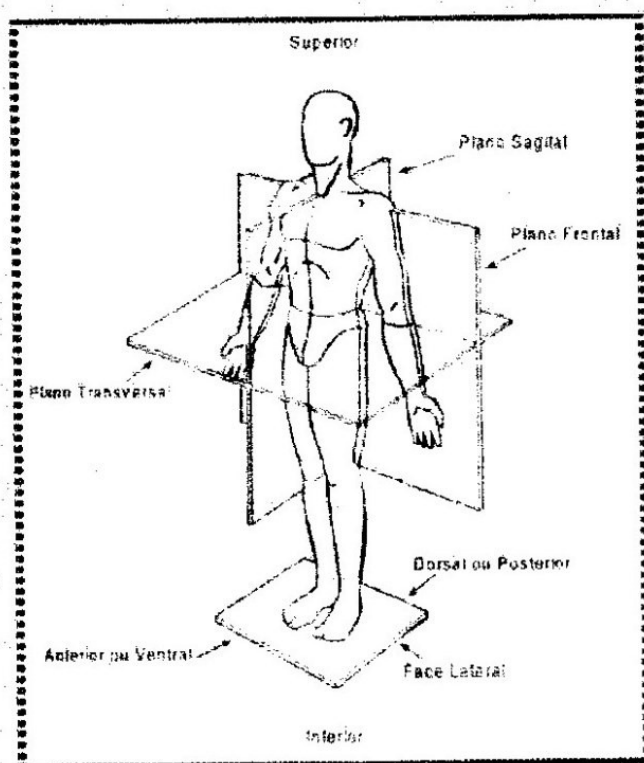


Figura 2.1: Planos do corpo humano

A figura 2.1 mostra graficamente como os planos se localizam no corpo humano.

#### 2.1.6. Eixos

São linhas imaginárias que atravessam as articulações e a redor das quais os movimentos se realizam. Eles de forma geral são sempre perpendiculares aos planos e classificam-se em [FOR01]:

- **sagital**, está localizado no plano sagital e atravessa o centro das articulações da frente para trás. É o eixo dos deslocamentos látero-laterais;
- **frontal**, está localizado no plano frontal e atravessa o centro das articulações látero-lateralmente. É o eixo dos deslocamentos Antero-posteriores;
- **longitudinal**, é vertical e atravessa o centro das articulações de cima para baixo. É o eixo dos deslocamentos em rotações; e
- **oblíquo**, é a combinação de dois ou três eixos. É o eixo dos deslocamentos oblíquos.

### 2.1.7 Movimentos

Teremos os seguintes movimentos considerando-se o plano e o eixo de ação dos mesmos [HAY85] :

<b>Movimento</b>	<b>Plano</b>	<b>Definição</b>
Flexão	sagital	diminuição dos ângulos entre 2 ossos
Extensão	sagital	aumento dos ângulos entre 2 ossos
Hiperextensão	sagital	movimento que ocorre além da extensão
Dorsiflexão	sagital	movimento do "peito do pé" em direção à canela
Flexão plantar	sagital	movimento da sola do pé para baixo
Abdução	frontal	afastamento da linha média do corpo
Adução	frontal	aproximação da linha média do corpo
Elevação	frontal	movimento para uma posição superior
Depressão	frontal	movimento para uma posição inferior
Rotação	transverso	giro em torno do eixo vertical do osso
Supinação	transverso	rotação lateral do punho ou mão em relação ao cotovelo
Pronação	transverso	rotação medial do punho ou mão em relação ao cotovelo
Circundução	vários planos	circunscrever uma área cônica, realizando em sequência movimento de flexão , abdução , extensão e adução.

Tabela 2.1: Movimentos humanos em relação aos planos.

Assim, se estudamos características do movimento como posição, velocidade e aceleração durante uma habilidade desportiva, sem nos preocuparmos com as forças que

geraram o movimento, estamos aplicando os conceitos da **cinemática**. Por outro lado, se investigamos as forças que geraram o movimento estamos aplicando os conceitos da **cinética**.

Outra análise de muito importância na biomecânica é a do centro de gravidade “o ponto em torno do qual o peso do corpo está igualmente distribuído em todas as direções” [HAL00], ou seja: “o Centro de Gravidade é um único ponto, em relação a um corpo, em torno do qual o seu peso está igualmente balanceado em todas as direções” [HAL00]. Durante a realização de uma habilidade física, o posicionamento do centro de gravidade é muito importante, pois o mesmo pode garantir um bom equilíbrio ou não do atleta. Assim, fazer a medição do mesmo é muito importante para um treinador que está avaliando a atuação de seu atleta.

Um dos métodos mais utilizados para determinar o Centro de Gravidade é o segmentar [FRA81] [HAL00]. Ele está baseado na idéia de que o produto da multiplicação dos centros de gravidade individuais dos diversos segmentos do corpo humano por suas respectivas massas segmentares, dividido pela massa total do corpo resulta na localização do Centro de Gravidade total do corpo.

Para se determinar o centro de gravidade deve-se seguir os seguintes passos:

- **primeiro** - colocam-se marcadores nos centros de gravidade dos seguintes segmentos do atleta<sup>10</sup> que se quer definir o centro de gravidade total: cabeça, tronco, braço, antebraço, mão, coxa, perna e pé. O centro de gravidade está localizado, conforme tabela 2.2, a uma porcentagem do tamanho do segmento a partir da extremidade proximal<sup>11</sup>;

---

<sup>10</sup> Usa-se aqui o termo atleta por este trabalho estar voltado para a análise desportiva, entretanto é importante salientar que pode ser qualquer pessoa em qualquer atividade. Como por exemplo uma criança aprendendo a andar ou uma pessoa lesionada fazendo fisioterapia.

<sup>11</sup> Extremidade proximal é a extremidade do segmento que mais se aproxima do centro do corpo. Por exemplo, no braço a extremidade proximal é a que se une a articulação do ombro.

Segmento	Homens	Mulheres
Cabeça e pescoço	10,75	10,75
Tronco	30,00	29,00
Braço	17,20	17,30
Antebraço	15,70	16,00
Mão	5,75	5,75
Coxa	23,20	24,90
Perna	24,70	25,75
Pé	4,25	4,25

Tabela 2.2: Localização do centro de gravidade dos segmentos

- **segundo** - tira-se uma foto do atleta com os marcadores e enquadra-se esta foto em coordenadas cartesianas, obtendo-se assim as coordenadas dos centros de gravidade dos segmentos;
- **terceiro** - calcula-se o peso dos segmentos usando a tabela 2.3 onde eles são encontrados expressos em porcentagem do peso total do corpo;

Segmento	Homens	Mulheres
Cabeça e pescoço	8,26	8,20
Tronco	55,10	53,20
Braço	3,25	2,90
Antebraço	1,87	1,57
Mão	0,65	0,50
Coxa	10,50	11,75
Perna	4,75	5,35
Pé	1,43	1,33

Tabela 2.3: Peso dos segmentos expresso em porcentagem do peso total do corpo.

- **quarto** - obtém-se as coordenadas do centro de gravidade do corpo, que será então marcado na foto para que se tenha uma visualização de onde ele está localizado, utilizando as seguintes fórmulas:

$$X_{CG} = \frac{\sum ((X_s) (M_s))}{\sum M_s} \quad (1.1)$$

$$Y_{CG} = \frac{\sum ((Y_s) (M_s))}{\sum M_s} \quad (1.2)$$

Onde:

$X_{cg}$  - coordenada X do centro de gravidade do corpo,

$X_s$  - coordenada X do centro de gravidade do segmento,

$M_s$  - Peso do segmento,

$Y_{cg}$  - Coordenada Y do centro de gravidade do corpo,

$Y_s$  - Coordenada Y do centro de gravidade do segmento.

A pesquisa em biomecânica baseia-se então na análise de métricas, e para obter estas métricas ela necessita de material de apoio. Este material de apoio, até poucas décadas, era formado basicamente de poucos instrumentos de aferição que forneciam as métricas e os biomecânicos faziam a análise dos dados colhidos. Hoje com o avanço da eletrônica surgiram novos instrumentos, e alguns com o uso do computador já fornecem inclusive análises prontas. Assim, os laboratórios, conforme o poder de aquisição, possuem instrumentos dos mais simples aos mais sofisticados.

Os instrumentos de medição e registro estão sendo utilizados por diversas áreas: a médica utiliza para diagnóstico e terapia; a de educação física utiliza na avaliação condicionamento e aprimoramento do desempenho de atletas[AMA00] e a da engenharia para análise de desempenho de determinadas peças, por exemplo, verificar a aerodinâmica.

Vamos citar a seguir alguns dos mais utilizados instrumentos para aferição:

- **instrumentos de Aferição Básicos** – são instrumentos que podem ser encontrados em versão comercial ou caseira, o que os torna bem acessíveis sendo então freqüentemente utilizados pelos pesquisadores. Entre eles

podemos destacar: *goniômetro* (manual) ou *eletrogoniômetro* (na forma eletrônica) – é utilizado para medir o ângulo existente nas articulações; *acelerômetro* é um transdutor usado para aferir a aceleração; Sistemas que combinam células fotoelétricas, feixes de luz e temporizadores podem ser utilizados para aferir a velocidade do movimento, etc. ;

- **eletromiografia** – É utilizada para fazer uma análise neuromuscular do atleta. Ela identifica os músculos que sofrem tensão durante um movimento e qual deles sofrem maior ou menor demanda. Para esta análise são colocados eletrodos que captam o nível de atividade mioelétrica<sup>12</sup>, as informações então são amplificadas e exibidas graficamente ou matematicamente por meio de computadores;
- **dinamografia** – *Plataformas de força e plataformas de pressão* – São ligadas a um computador que calcula as grandezas cinéticas. Na de força, a reação do solo nas direções vertical, lateral e antero-posterior em relação a ela própria, e na de pressão, a pressão através da superfície plantar; e
- **cinematografia** - É a técnica mais recente a ser utilizada. Os primeiros estudos em videoteipe de habilidades motoras eram basicamente *feedbacks* que facilitavam a visualização de detalhes que na observação ao vivo não eram possíveis. Atualmente nas filmagens são feitas análises mais complexas, para isso colocam-se marcadores reflexivos em pontos estratégicos do atleta ou de seus instrumentos, estes ao serem iluminados pelos *LEDs* das câmeras tornam-se pontos refletores de luz. Estes sinais luminosos são então captados pelas câmeras, preferencialmente de alta velocidade, que são ligadas a um computador onde está instalado um software específico de digitalização dos mesmos. Desta forma o movimento é representado por coordenadas bidimensionais (X e Y) ou tridimensionais espaciais (X, Y e Z), permitindo assim a análise do movimento através delas. É muito importante que ao utilizar esta técnica observar:

<sup>12</sup> atividade mioelétrica- corrente elétrica ou voltagem produzida por um musculo ao desenvolver tensão

- se a imagem será filmada em 3D (tridimensional) ou 2D (bidirecional), pois alguns estudos podem apresentar distorções se filmados em 2D;
- a correta calibração das câmeras, pois é ela quem determine o volume de aquisição do sistema;
- a resolução<sup>13</sup> das câmeras, pois [KNU01] “a resolução em todas as direções constitui um problema quando o vídeo é usado para medidas reais (análise quantitativa)”;
- a taxa de quadros<sup>14</sup> que deve ser apropriada para o tipo de análise. Por exemplo, para filmar caminhadas uma câmera de 60hz<sup>15</sup> é adequada porém não o é para a filmagem de um serviço do tênis<sup>16</sup>; e
- se o ambiente é adequado para captar as imagens. Normalmente são utilizados laboratórios escurecidos (sem janelas e pintados de preto) para que fontes de luz não forneçam distorções, e a posição das câmeras neste laboratório também deve ser cuidadosamente escolhida para que os pontos (marcações) permaneçam o maior tempo possível visíveis por pelo menos uma delas.

A biomecânica vem despertando muito o interesse da comunidade científica voltada para a área do movimento humano. Este interesse pode ser avaliado pelos laboratórios instalados por todo o mundo, sendo inclusive em grande número aqui no Brasil. Podemos destacar aqui os laboratórios de biomecânica: da Universidade para o Desenvolvimento de Santa Catarina (UDESC), que faz estudos para a aeronáutica e para a indústria de calçados

---

<sup>13</sup> Cada quadro de vídeo é chamado frame e é constituído por dois campos, um formado por linhas horizontais de pontos ou pixes (abreviação para picture elements) e o outro por linhas horizontais pares formando um entrelaçado de linhas. Quanto maior o número de pixes no quadro mais alta a resolução e melhor a imagem.

<sup>14</sup> Número de quadros por segundo.

<sup>15</sup> O número de hz equivale ao número de quadros por segundo.

<sup>16</sup> Uma filmagem em alta velocidade, mais de 100hz, normalmente consegue identificar o momento do impacto da bola no serviço do tênis, um evento que dura apenas 0,005 segundos [KNU01]

entre outros, além disso, esta Universidade tem um curso de mestrado em ciência do movimento humano sendo uma de suas linhas de pesquisa a da biomecânica [CEN02]; da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) que está inclusive com um projeto de “Desenvolvimento de Softwares para o Auxílio no Ensino de Biomecânica” [UFR02] e o Laboratório para Estudos do Movimento da Universidade estadual paulista, que apesar de ter iniciado suas atividades somente em 1999, já desenvolveu diversas pesquisas na área de análise do movimento, artigos estes publicados em revistas científicas e congressos [LEM02]. Mas além desses, praticamente em todas as grandes Universidades Brasileiras que possuem o curso de Educação Física existem profissionais que trabalham com algum tipo de pesquisa voltada para este estudo, isso sem entrarmos em detalhes quanto ao que vem sendo desenvolvido em universidades por todo o mundo.

Além dos laboratórios em universidades, podemos citar também o grande número de sites voltados para a difusão desta ciência. No Brasil destacamos o da Sociedade Brasileira de Biomecânica [SBB02] que divulga revistas, artigos e jornais nesta área. No mundo podemos citar a International Society of Biomechanics [ISB02] que tem por objetivo “... promover o estudo da biomecânica dos movimentos com ênfase especial em seres humanos; encorajando contatos internacionais entre cientistas neste campo, promovendo conhecimento de biomecânica em um nível internacional, e cooperando com organizações relacionadas” e as Biomechanics Yellow pages [BYP02] voltada à divulgação de eventos e matérias sobre biomecânica.

Podemos então confirmar, com todas estas informações, o alto grau de interesse nesta disciplina que desenvolve trabalhos não só na área desportiva mas também “como instrumento de diagnóstico em processos recuperatórios de pessoas com distúrbios, deficiências, anomalias ou limitações com reflexos sobre o aparelho locomotor” [BAR99].

## **2.2. Análise do Movimento Humano**

A análise do movimento humano é um estudo dos mais prestigiados nas últimas décadas, e que envolve profissionais das mais diversas áreas. Médicos, Fisioterapeutas, Professores de Educação Física e até Engenheiros, são alguns dos profissionais que estão utilizando este estudo em seus trabalhos, pois para eles conhecer o movimento é de fundamental importância [CAR98]. Este estudo é tão importante que até a simples tarefa de

levantar um peso pode ser analisada, e assim dar explicações de como deve ser executada para que não venha a causar lesões em quem a executa [RAS91].

Muito esforço tem sido gasto no sentido de desenvolver a análise do movimento em seus diversos campos de atuação. O Ottawa Hospital, em seu Centro de Reabilitação desenvolveu um software de análise do movimento que a partir de uma filmagem analisa campos da biomecânica e da ergonomia. Ele calcula entre outros: ângulos, velocidade de caminhada, tamanho e duração dos passos. Este software é utilizado por especialistas em reabilitação para fazer diagnósticos e definir tratamentos [OTT02]. Outro exemplo é o da Universidade de Michigan, onde os alunos para seus estudos dispõem de softwares para análise do movimento humano. Um de captura através de filmagens e outro de análise de diversos dados biomecânicos. Depois com a utilização do Excel e do Word são feitos relatórios e gráficos que dão um parecer sobre o movimento. Eles utilizam estas tecnologias tanto para análises desportivas quanto para a área de reabilitação [UNI02].

Muitas empresas também surgiram no ramo do desenvolvimento de softwares para análise do movimento, podemos citar entre outras a Spica Technology Corporation [SPI02], Simi Motion Corporations [SIM02] e Ariel Dynamic Company [ARI02]. Estes sistemas têm a finalidade de digitalizar as informações fornecidas através da filmagem de um movimento onde o indivíduo filmado está com sensores (adesivos refletivos de luz) colados em seu corpo. No caso de querer analisar o serviço do tênis, por exemplo, podem ser colados adesivos nas articulações do ombro, cotovelo e mão; e até mesmo na bola e na raquete. O sistema então fornece as informações, captadas através da posição dos sensores, para que o software possa efetuar todos os cálculos necessários para fornecer as mais variadas informações sobre o movimento, por exemplo, a velocidade que ele bateu na bola, centro de gravidade, ponto de apoio ao pisar no chão, etc., todas quadro a quadro.

Uma medida prévia que deve ser tomada na filmagem do movimento é a definição dos vários sistemas de coordenadas associados à imagem [AMA00]: o sistema de coordenadas da câmera tem origem no centro perspectivo (centro óptico das lentes) que por sua vez deve ser calibrado de acordo com o laboratório para fornecer o sistema de coordenadas do mesmo, que então possibilitará determinar a posição espacial de cada marcador que fornece então o sistema de coordenadas do objeto, sistema este que indica a trajetória do movimento.

Durante a filmagem, para que um ponto seja analisado em um determinado instante, é necessário que ele esteja no alcance visual de pelo menos uma das câmeras para 2D e de pelo

menos 2 câmeras para 3D. Caso isto não ocorra alguns softwares estão preparados para fazer interpolação. Infelizmente, embora estudos estejam sendo feitos nesta área [LPO98], o ponto não pode permanecer por muito tempo fora do raio de ação das câmeras, pois isso pode gerar muitos erros o que tornaria os dados inconsistentes.

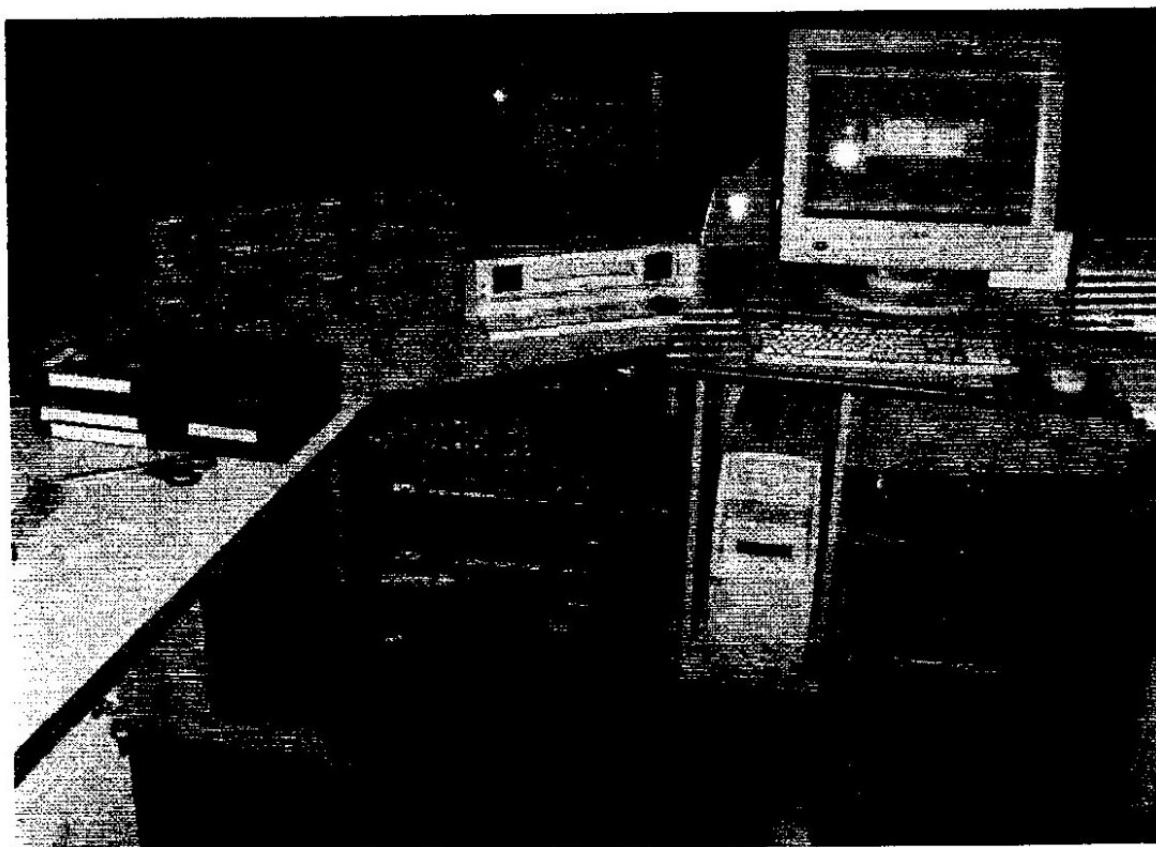


Figura 2.2: Laboratório de Biomecânica

Na figura 2.2 temos como exemplo de sala de filmagem um dos laboratórios de biomecânica do Centro de Educação Física e Desportos da Universidade para o Desenvolvimento do Estado de Santa Catarina onde foram feitas as filmagens que serviram para teste deste trabalho. A figura mostra os equipamentos de vídeo cassete (um para cada câmera) que gravam as filmagens, o vídeo de TV onde as imagens são mostradas (somente os marcadores deverão estar visíveis para que possa ser feita a digitalização), e os computadores com o software que interpreta as imagens.

Para melhor entender como funciona este equipamento vamos mostrar as seguintes figuras:

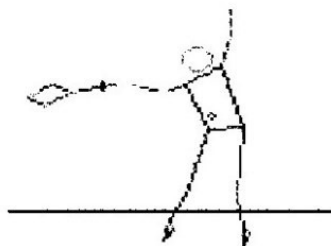


Figura 2.3: Esquema de um movimento de uma habilidade

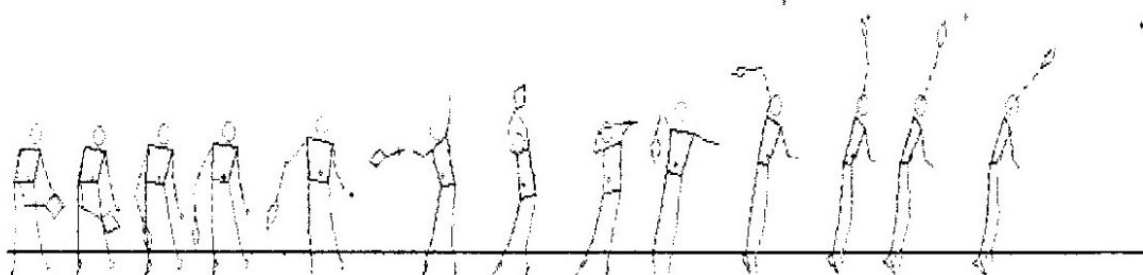


Figura 2.4: Esquemas do conjunto de movimentos de uma habilidade



Figura 2.5: Esquema de uma seqüência de movimentos

A figura 2.3 mostra de forma esquematizada como um quadro da filmagem mostra os pontos onde os sensores foram colocados em um atleta executando o serviço do tênis. Neste exemplo as linhas estão ligando os pontos que foram demarcados. A figura 2.4 mostra uma seqüência de quadros, dando uma visão de como foi executado o movimento do início ao fim e na figura 2.5 temos os diversos quadros resumidos em um único desenho.

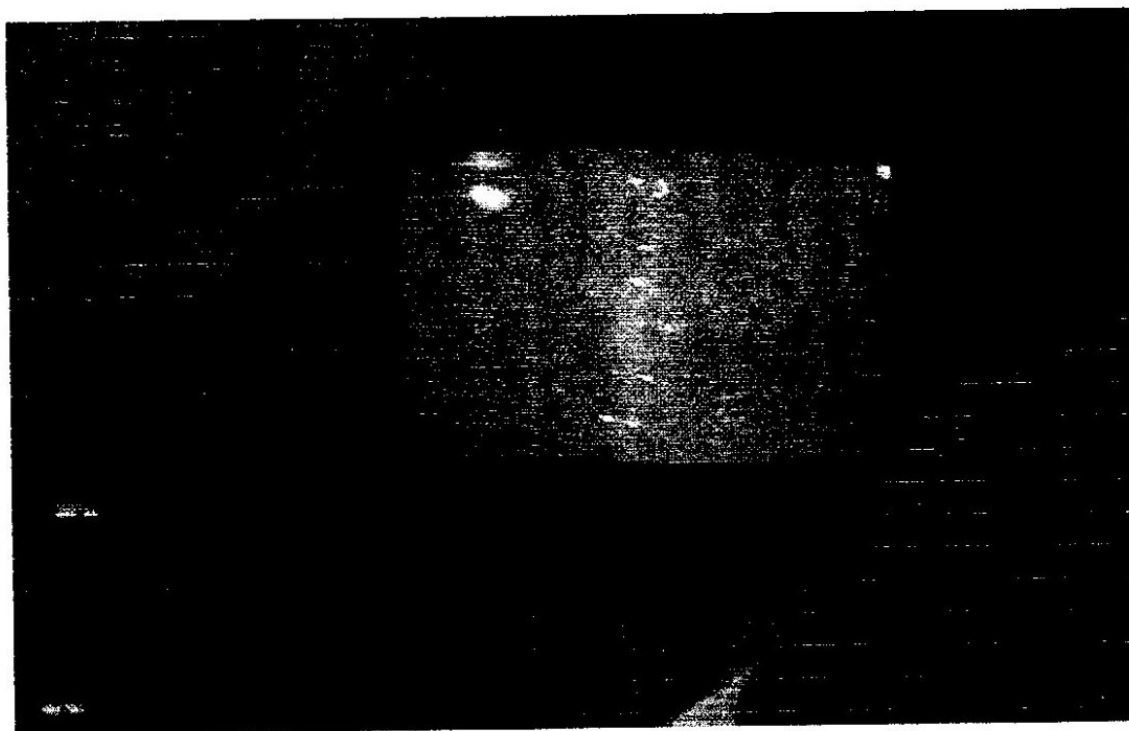


Figura 2.6: Vídeo mostrando um movimento com marcadores

Temos mostrado na figura 2.6 um monitor de vídeo onde podemos observar um quadro da filmagem do atleta executando o serviço do tênis. Somente os pontos refletindo a luz das filmadoras é que está visível, pois só assim é que os pontos podem ser identificados e digitalizados pelo sistema.

De posse das informações obtidas pelo sistema, conforme mostrado nas figuras 2.3, 2.4, 2.5 e 2.6, o treinador pode analisar quadro a quadro como o atleta executou o serviço, verificando os fatores que interferem na execução do mesmo, como: qual ângulo forma a articulação do cotovelo na hora do saque, ele pode ter dobrado muito o braço; o giro da raquete, ele pode ter girado muito; qual a velocidade que a bola atingiu, poderia ter batido com mais força; e muitos outros fatores.

Todos os softwares comercializados nesta área são importados e por isso são muito caros. Normalmente o software é comercializado junto com os equipamentos, o que encarece e força o cliente a sempre comprar da mesma empresa quando quer fazer qualquer tipo de *upgrade*. Na Unicamp foi desenvolvida uma pesquisa a nível de mestrado que consiste na concepção e avaliação de um sistema para análise cinemática tridimensional de movimentos humanos, onde o rastreamento (*tracking*) destes em seqüências de imagens digitais é formulado usando conceitos de processamento de imagens, em particular morfologia matemática. As características principais do sistema são a independência em relação a equipamentos dedicados, a confiabilidade dos resultados, a simplicidade de operação e o baixo custo. Infelizmente este estudo ficou a nível acadêmico [BAR99].

### 2.3. Análise do Movimento Desportivo

Quando uma competição desportiva é transmitida via satélite para o mundo todo, com toda certeza, milhões de telespectadores ficaram admirados com a facilidade, suavidade, precisão e perfeição que eles observam em um determinado atleta que executa as habilidades de seu desporto. Para um observador leigo os movimentos que compõem a habilidade parecem perfeitos, para um *expert* eles podem ter apresentado erros considerados grosseiros. Esta situação é claramente observada quando o desporto é a ginástica rítmica desportiva, é muito comum leigos não concordarem com as notas dos juizes por acharem que o movimento estava tão bonito e os comentaristas citarem no mesmo instante diversas falhas cometidas por eles. Para podermos então analisar uma habilidade desportiva precisamos ter um amplo conhecimento desta habilidade. Conhecer uma determinada habilidade não implica somente em conhecer a finalidade de um movimento, mas também os fatores que interferem direta ou indiretamente na execução desta habilidade.

Qual é então a forma correta de se executar uma determinada habilidade desportiva? Cada atleta possui suas particularidades, seu biotipo próprio, o que torna seu movimento único, fazendo com que cada atleta tenha suas particularidades para executar uma habilidade. Temos que considerar também que quando o atleta está em um nível técnico muito alto, seus movimentos são aparentemente idênticos, entretanto, qualquer pequena diferença no movimento vai representar uma grande diferença no resultado final da habilidade o que não ocorre com atletas iniciantes que mudará dramaticamente de uma execução para outra [CAR98]. Para tentar solucionar este problema de analisar os movimentos que compõe uma

habilidade desportiva, e através desta análise mostrar as diferenças ocorridas nos movimentos a cada repetição da habilidade, movimentos estes aparentemente iguais, existe a biomecânica, a única base sólida e lógica de se avaliar as técnicas desportivas.

Estas afirmações são confirmadas pelo que disse o professor Ricardo Barros [ANA99] no VIII Congresso Brasileiro de Biomecânica, em sua palestra sobre Metodologias Biomecânicas no Brasil: “Quando consideramos problemas aplicados em Biomecânica em contextos de reabilitação, esportes, ergonomia, controle motor ou outro qualquer, percebemos que os modelos de análise que utilizamos são fortemente simplificados. Não está ao nosso alcance, por exemplo, conhecer em detalhes a geometria do nosso problema, especialmente quando modelos estatísticos não são suficientes e necessitamos considerar as características individuais dos sujeitos”.

Existem dois métodos pelos quais as habilidades desportivas podem ser analisadas [HAY85]: O método *qualitativo*, quando a execução é analisada do ponto de vista do observador. É quando o treinador observa a atividade e baseado em outras execuções que ele já presenciou faz uma análise e esboça sua opinião. É basicamente subjetivo. Por exemplo, em um voleio no tênis o técnico pede ao seu atleta que bata quando a bola estiver mais alta, que ele não espere muito para rebater. Temos aqui também a integração de muitas sub-disciplinas da cinesiologia como a psicologia do esporte e a fisiologia [KNU01], e ela em seu aspecto mais recente pode até utilizar a biomecânica, que analisada isoladamente é um método puramente quantitativo; O método *quantitativo* é o mais utilizado por pesquisadores e técnicos com alto nível técnico. Neste método as habilidades são registradas por algum instrumento (fotografia, filmagem ou outro) e quantificadas com bases físicas e matemáticas, e então analisadas. Esta técnica é utilizada, por exemplo, para verificar a eficácia de uma técnica alternativa, ele é totalmente objetivo.

Para conseguir fazer a análise de uma habilidade, deve-se primeiro entender como ela é executada, e porque ela é executada daquela forma. James Hay [HAY98] descreveu essa coleta de informações como a seguir:

- **determinar os objetivos da habilidade** - Vamos descobrir o objetivo de uma habilidade analisando as regras que a coordenam. Geralmente uma habilidade possui mais de um objetivo. Por exemplo, na cortada do voleibol, o principal objetivo é bater na bola de forma que ela passe pelo bloqueio e

caia na quadra do adversário, mas para isso ocorrer, são importantes o tempo, o salto e a exatidão da batida. Além disso, o atleta não pode encostar na rede. Portanto, quando for treinar a cortada é necessário trabalhar com a mecânica de aproximação, do salto, do movimento de cortada e do controle do corpo, não apenas da batida na bola;

- **observar as características especiais da habilidade** - Ao observarmos as características especiais da habilidade devemos verificar a forma e as condições como ela é executada da seguinte forma:
  - **examinando a forma como a habilidade é executada:** se ela é não repetitiva (ou discreta), isto é tem um início e fim definidos, por exemplo, o arremesso de disco. Ou se ela é repetitiva, aquelas que tem uma natureza cíclica, onde ao completar um ciclo outro automaticamente inicia. Por exemplo, uma passada na corrida de velocidade; e
  - **verificando as condições nas quais o atleta executa a habilidade:** ela é considerada aberta ou imprevisível quando existir alguma oposição, cuja função é fazer com que o atleta falhe em seu objetivo, por exemplo, um goleiro precisa reagir conforme as manobras do adversário. Como exemplo de habilidades previsíveis temos todas as habilidades que iniciam um jogo. Deve-se observar também o ambiente, ele é considerado imprevisível quando está sujeita a alteração do tempo;
- **estudar Desempenhos Excelentes da Habilidade** - Observando o desempenho de atletas de elite executando uma habilidade, você consegue entender os padrões básicos dos movimentos da mesma;
- **dividir a Habilidade em fases** - Fases são os diferentes estágios que o atleta passa durante a execução da habilidade, a junção de todas as fases representa a habilidade completa. Por exemplo, podemos dividir o lançamento de dardo em 4 fases: concentração, corrida, arremesso e recuperação;

## Capítulo 3

### Inteligência Artificial

Um dos grandes desafios quando se começa a trabalhar com Inteligência Artificial é defini-la. Na realidade as diversas descrições encontradas na literatura especializada como a de Chorafas [CHO97] onde "... I.A. é o ramo da Ciência da computação que enfoca o desenvolvimento de programas de computador capazes de desempenhar tarefas normalmente associadas ao comportamento humano inteligente sempre apresentam alguma fraqueza [BAR97], como por exemplo: recursividade. A que veio mais de encontro às idéias desenvolvidas nesta dissertação foi a que Rabusk citou [RAB95], "I. A. é a parte da ciência da computação, concernente ao projeto de sistemas computacionais, que exibem inteligência humana: aprender novas informações, entender linguagens, raciocinar e resolver problemas". Esta passará então a ser a definição adotada nesta dissertação.

Após termos em mãos uma definição adequada ao novo propósito, nos surge outra indagação: quando utilizá-la? A primeira medida a ser tomada é verificar se suas características vão ao encontro do que necessitamos, que segundo Ribeiro [RIB87] podemos citar as seguintes:

- primariamente tem processamento simbólico,
- soluções heurísticas,
- estrutura de controle separada do domínio de conhecimento,
- fácil de ser alterada e de ser atualizada,
- algumas respostas erradas são toleráveis, e
- respostas satisfatórias usualmente são aceitas.

Assim, os problemas para os quais a I. A. é recomendada são aqueles que [RIB87] normalmente envolvem complexidade, incerteza e ambigüidade, pois lidam entre outras com palavras e conceitos. Se optarmos por este método, precisamos ter em mente que ela pode inclusive fornecer algumas toleráveis respostas erradas, diferindo assim das formas tradicionais de cálculos que fornecem necessariamente respostas precisas.

Foi em um encontro de verão no “*Dartmouth College*” em 1956 entre lógicos, economistas, psicólogos e especialistas em eletrônica, considerado mais tarde como o primeiro esforço em conjunto para estudar I. A., que John MacCarthy usou pela primeira vez a expressão Inteligência Artificial [GAN97]. Muito otimismo rodeava esta tecnologia na época, porém os progressos foram muito lentos e muito pouco divulgados. Foi somente nas décadas de 70 e 80 pelo desenvolvimento dos Sistemas Especialistas (*Expert Systems*) e baseados em conhecimento (*KBS – Knowledge Based Systems*), e pela expansão do uso de linguagens como LISP e PROLOG que ela ficou mais conhecida. O surgimento dos microcomputadores foi um marco importante para a computação e um grande impulso a difusão da mesma. Quando o mundo então começou a ter uma melhor visão do que era a I.A., os países começaram a entrar na corrida pela criação de ferramentas para ela. Os japoneses lançaram seu projeto de criação dos computadores de 5º geração (computadores com capacidade de falar, escutar e raciocinar), eles não obtiveram os resultados espetaculares esperados, seu mérito resumiu-se em chamar a atenção para este novo rumo da Ciência da Computação. Os Estados Unidos também criaram seus projetos, sendo que, o mais importante foi o CYC que visava dotar o computador de grandes conhecimentos. Os anos passaram e os avanços nesta área não foram tão grandes quanto o esperado. Um computador (*Deep Blue*) já ganhou um jogo de xadrez do campeão humano (*Kasparov*), mas ele não é ainda uma máquina inteligente.

A Inteligência Artificial hoje trata de uma variedade tão grande de problemas que seria difícil limitá-la, podemos dar como exemplos as aplicações:

- de reconhecimento como: de caracteres escritos, de impressões digitais, de fotografias e de palavras faladas,
- nos processos de diagnóstico: médico ou de defeitos mecânicos,
- nas tomadas de decisões: nos mercados de capitais, em jogos e em seqüências de movimentos de robôs,

- monitoração em tempo real,
- nos processos de ensino, e
- em muitas outras áreas.

Baseado nos diversos campos de estudo que ajudaram na fundamentação dos princípios teóricos desta tecnologia surgiram dois grandes grupos de estudo:

- **Métodos Simbólicos** – que se baseiam na idéia de que a inteligência constitui-se de operações simbólicas, de comportamentos cognitivos. Assim, segundo Jean Gabriel [GAN97] sistemas simbólicos “... são objetos matemáticos, definidos a partir de um conjunto de expressões supostas como evidentes para todos, os *axiomas*, e de um conjunto de regras, denominadas *regras de derivação*, que transformam os axiomas para construir novas expressões, os *teoremas*. Estes por sua vez também podem ser transformados pelas regras de derivação, para engendrar novos teoremas, e assim por diante, *ad infinitum*”. Uma característica importante deste método é que ele trabalha com heurística<sup>15</sup>, o que introduz na Ciência da Computação incertezas e aproximações.
- **Métodos Conexionistas** – que se baseiam na maneira como se organiza e como funciona o cérebro humano, onde os neurônios são simulados por autômatos elementares, chamados neurônios formais, e conectados entre si por ligações chamadas sinápticas por onde passam os impulsos, formando o que chamam de Rede Neural. Esquemáticamente uma rede neural é representada por grafos orientados onde os nodos representam os elementos processados e os arcos as conexões moduladas, sendo que o sentido dos arcos indica a direção e o peso à intensidade do fluxo dos sinais [SKA96].

---

<sup>15</sup> Heurística- método analítico para o descobrimento de verdades científicas [FER77]

Neste estudo vamos nos ater ao primeiro grande grupo, o dos métodos Simbólicos, sobre o qual serão mostrados neste capítulo os principais conceitos. Duas subáreas da Inteligência Artificial, a dos Sistemas Especialistas e da Aprendizagem de Máquina, que influenciaram esta dissertação terão também um destaque especial.

### 3.1. Conhecimento

Procurando entender o que é conhecimento encontramos no dicionário Aurélio [FER77] que conhecimento é informação, notícia, ciência, prática da vida: experiência. A partir da definição podemos então afirmar que existem dois tipos de conhecimento: o formal, aquele que a ciência prova e que todos nós sabemos da mesma forma, como por exemplo, que a primeira letra do alfabeto latino é o A; e o conhecimento informal que é resultado das experiências que vivemos, por exemplo, que podemos usar a lista telefônica para achar o número de um telefone. A grande diferença entre os dois tipos de conhecimento está no fato que o primeiro é imutável, não existe divergência na forma que as pessoas o vêem. No segundo tipo, por ser resultado de uma experiência de vida ele mudará de pessoa para pessoa. Assim o conhecimento que uma pessoa possui é extremamente volumoso, pois ela o armazena desde a sua concepção até a sua morte, sendo que o informal será muitas vezes superior ao formal.

O ser humano não só aumenta como também utiliza seus conhecimentos a cada instante, pois a cada tomada de decisão ele busca em sua mente informações que tenham referência com ela e obtém a resposta para a mesma. Desta forma, existem decisões diferentes para resolver problemas iguais, pois as informações que cada um possui sobre o mesmo varia de acordo com as experiências que ele viveu. Citemos o caso de duas pessoas que precisam encontrar o número do telefone de uma escola chamada Solução:

- se irão procurar na lista telefônica ou na ajuda por telefone (o número 102),
- se buscarão na lista de assinantes ou classificados, e
- se procurarão na letra S de Solução ou na E de escola.

Esta busca dependerá do conhecimento informal que elas possuem, pode ser até mesmo que elas não saibam como achar se não tiver esse conhecimento. Entretanto se acharem o número, mesmo que busquem por meios diferentes, ele será o mesmo para as duas, pois este conhecimento é formal.

### 3.2. Aquisição do Conhecimento – Aprendizado

O ser humano quando vivencia alguma experiência ele está ao mesmo tempo adquirindo através de seus sentidos algum tipo de informação, isto é na realidade aprendendo algo. Assim o indivíduo está aprendendo a cada instante algum novo conhecimento baseado em suas experiências. Os sistemas inteligentes têm como foco principal o de imitar este processo de aprendizado, tanto do conhecimento formal como do conhecimento informal.

A primeira tarefa ao se pensar em desenvolver um sistema inteligente é adquirir e dominar o conhecimento que o envolve, para isso existem dois métodos. Nos métodos **manuais** a forma mais convencional de se obter conhecimento é a entrevista onde um engenheiro do conhecimento<sup>16</sup> conversa com a pessoa que domina o conhecimento que ele deseja manipular. Nela o engenheiro deve apresentar contra-exemplos que pareçam violar as hipóteses do perito, e assim, ao levantar dificuldades conceituais, fazer com que ele reaja expondo mais conhecimento. Mas além de entrevistas individuais, podem também ser feita discussão grupal ou até mesmo competições de conhecimento. O importante aqui é que o engenheiro planifique todas as informações repassadas e as interprete da forma mais fidedigna para que não haja perdas e nem distorções na hora de repassá-las para um sistema [CHO87]. E os métodos **computadorizados** que utilizam sistemas onde o perito interage com o computador repassando então diretamente o seu conhecimento.

Podemos então dizer que aquisição de conhecimento é um processo de extração, transformação e transferência de informação de uma fonte de conhecimento para um programa de computador.

Os sistemas de I.A. não possuem simples bancos de dados como os Sistemas de Informação, em vez disso, eles tem bases de conhecimentos. Nelas não podemos nos limitar à adição de novos elementos “é necessário integrar o novo conhecimento ao conhecimento já disponível, através da definição de relações entre os elementos que constituem o novo conhecimento e os elementos já armazenados na base” [BIT95]. Existem duas metodologias para definir esta relação, ou ligamos os elementos de conhecimento diretamente através de ponteiros ou reunimos diversos elementos relacionados em grupos (clustering).

Nestas bases de conhecimento faz-se necessário também o tratamento de incoerências, pois durante o processo de aquisição pode ocorrer que eles venham com erros, resultado do

---

<sup>16</sup> É o profissional responsável pela estruturação e construção de um sistema inteligente. Ele extrai conhecimento de alguma fonte, interpreta e representa em tipos e estruturas convenientes.

próprio equipamento, como ruídos no caso de sensores, quanto pelo fator humano. Para evitá-los o ideal é criar regras de aquisição onde o tipo de conhecimento esperado é definido, e fazer exames periódicos tentando detectar qualquer incoerência que venha a ocorrer.

Dentro dos sistemas inteligentes temos diversos tipos de conhecimento [RIC94]:

- **relacional simples:** é o conjunto de atributos e valores que descrevem os objetos da base de conhecimento,
- **herdável:** é o conhecimento que classes genéricas podem passar para classes específicas sob forma de herança,
- **inferencial:** é o conhecimento que pode ser usado para gerar mais conhecimento, e
- **procedimental:** é o conhecimento sob forma de procedimento, que explica o que fazer e quando fazer. A sua forma mais comum de representação é como código, a máquina então usa o conhecimento quando executa o código.

### 3.3. Representação do Conhecimento

É o modo de se modelar um determinado conhecimento de forma que, quando visto o modelo, possamos tirar conclusões sobre ele. A representação do conhecimento é generalizável, ao contrário do conhecimento em si que é individual. A representação necessita de vários pontos de vista do mesmo conhecimento, de modo que possa ser atribuído a diversas situações e interpretações.

Uma boa representação de conhecimento deve ter as seguintes propriedades [RIC94]:

- poder representar todo o conhecimento relativo àquele domínio,
- ter a capacidade de manipular as representações de modo a derivar representações de novos conhecimentos, inferidos a partir de conhecimentos antigos,
- ter a capacidade de incorporar novas informações facilmente, e
- ter a capacidade de incorporar novas informações que auxiliem nos mecanismos de inferência.

Diferentes técnicas de representação simbólica do conhecimento foram criadas para atender a necessidades específicas. Estas técnicas expressam o conhecimento de forma que ele possa ser tratado computacionalmente [SKA96][RIC94]:

- **lógica:** É a base para a maioria dos formalismos de representação de conhecimento. Uma linguagem lógica é definida por sua sintaxe, que descreve as possíveis configurações das sentenças da linguagem, e por sua semântica, que descreve a relação das sentenças com fatos do mundo. Além da linguagem é necessário definir um mecanismo de inferência, conjunto de regras usadas para gerar novas sentenças a partir das existentes. Existem os seguintes tipos de lógicas para representação do conhecimento: lógica modal, lógica não monotônica, lógica difusa, raciocínio sobre estados mentais e raciocínios sobre estados e mudanças;
- **redes Semânticas:** É formada por um conjunto heterogêneo de sistemas, sua representação é a de um grafo dirigido(dígrafo), onde os nós representam objetos, situações ou conceitos e os arcos representam as relações entre eles [RAB95]. A ativação de uma rede semântica é uma busca por relações entre nós, busca esta que geralmente serve para extrair informações. Elas também introduzem a idéia de herança, onde cada instância ou sub-classe herda os atributos válidos para a classe, fazendo com que um nodo seja definido apenas uma vez no mais alto nível de uma hierarquia de conceitos;
- **frames:** é um método de representação, onde uma classe é definida por um conjunto de atributos que possuem determinados valores, sendo que os valores podem ser inclusive outros frames. Assim como as redes semânticas, eles são organizados em hierarquia de especializações de forma a favorecer a herança de atributos. Frames são eficientes em domínios que apresentam uma taxinomia natural de conceitos; e
- **scripts:** é uma variação dos frames e descrevem seqüências estereotipadas de eventos sob forma parecida com escritos resumidos. Eles representam o conhecimento sobre situações usuais e podem ser utilizados para auxiliar no entendimento da ordem dos eventos, pois os eventos descritos num script formam uma cadeia causal.

### 3.4. Representação de Incertezas

Por ser uma das características dos sistemas especialistas trabalhar com descrições incertas, imprecisas e vagas, esta funcionalidade tem sido a que apresenta o maior número de pesquisas. Por este motivo diversos métodos foram propostos para sua solução, podemos destacar entre eles: o método bayesiano que trata de informações imperfeitas, define a probabilidade de um dado evento pertencer a uma classe a partir de um conjunto de observações; a teoria dos conjuntos nebulosos que é o modelo mais tradicional a tratar de informações imprecisas e vagas, ele permite graduações da possibilidade de um elemento pertencer com maior ou menor intensidade a uma classe. Esta característica permite que o grau de pertinência de um elemento para um conjunto possa assumir valores dentro do intervalo de números reais  $[0,1]$ , diferentemente das teorias clássicas onde os valores poderiam ser apenas 0 ou 1; e a teoria de probabilidade que é o método mais tradicional a tratar das incertezas e permite definir a probabilidade de um elemento pertencer a uma determinada classe, assim encontramos as seguintes interpretações em Bittencourt [BIT02]: “A medida de probabilidade tem uma interpretação freqüentista e uma interpretação subjetiva. Na interpretação freqüentista, que é à base da utilização de informações estatísticas,  $P(A)$  representa o limite da freqüência da ocorrência do evento  $A$  em uma seqüência infinita de experiências independentes. Na interpretação Subjetiva, mais freqüentemente usada em sistemas baseados em conhecimento,  $P(A)$  representa a crença de um determinado individuo na ocorrência de  $A$ .”

### 3.5. Estratégias de Busca

São métodos que visam gerar soluções candidatas e testes de aceitação [CHO87], temos para isso que verificar primeiro o tamanho do espaço de busca.

Quando o espaço de busca é pequeno ele se caracteriza por possuir problemas diretos com dimensões limitadas que podem ser facilmente divididos em parte menores semi-independentes, uma única linha de raciocínio é suficiente e a pesquisa exaustiva pode ser aplicada. O retrocesso portanto, não é necessário e o raciocínio é normalmente feito por eliminação: regras geram soluções possíveis e outras regras expurgam as soluções que não atendem aos critérios pré-estabelecidos.

Quando temos grandes espaços de busca, com problemas complexos e indivisíveis, que requerem técnicas mais poderosas. Aqui abordagens hierárquicas de geração de testes podem ser eficientes se for possível avaliar somente soluções candidatas parcialmente especificadas, pois isso eliminaria ramos inteiros de raciocínio que representam classes inteiras de soluções, o que reduz em muito a busca. Outros métodos também indicados são o retrocesso direcionado à dependência, onde os registros de dependência determinam o que invalidar, e o retrocesso cronológico, onde se retrocede a escolha mais recente que será o início para um novo caminho de pesquisa lógica. Uma outra abordagem quando temos grandes espaços de busca é o meta-raciocínio que acrescenta ao espaço de pesquisa níveis de espaços adicionais para decidir o que fazer a seguir.

### **3.6. Tipos de Sistemas Inteligentes**

Sistemas Inteligentes operam sobre o conhecimento e produzem um resultado simbólico significativo que pode ser interpretado pelos usuários destes sistemas. A seguir temos alguns tipos de sistemas inteligentes:

#### **3.6.1 Sistemas Especialistas (*Expert Systems*)**

São sistemas Inteligentes desenvolvidos a partir de um conhecimento restrito sobre uma determinada área do mundo real. Eles são capazes de emitir decisões baseadas no conhecimento que estão armazenados em sua base, conhecimento este extraído de um ou vários especialistas do domínio. O conhecimento armazenado nestes Sistemas Especialistas deve ser representado de acordo com regras formais e estar em constante atualização, pois além de serem capazes de inferir conclusões terão a capacidade de melhorar seu desempenho, aprimorar seu raciocínio e aperfeiçoar suas decisões.

Como exemplos clássicos deste sistema podemos citar: o MYCIN [SHO96] que auxilia na escolha de terapias com antibióticos para certos tipos de doença. A sua base de informações armazena o conhecimento de diversos especialistas desta área e está em constante atualização, assim apesar de ser utilizado por peritos ele é uma ferramenta de auxílio a tomada de decisão; e o Dendral [BUC78] onde o objetivo é "... desenvolver programas capazes de determinar automaticamente o conjunto de estruturas moleculares,

constituídas de átomos conhecidos, capazes de explicar dados provenientes da análise espectrográfica de uma molécula desconhecida”.

Mas por que desenvolver sistemas que armazenam conhecimento que algumas pessoas já possuem? Existem vários motivos que levam a desenvolver um sistema Especialista, podemos citar entre eles:

- ajuda a reduzir falhas humanas e acelerar tarefas,
- aumenta o desempenho e a qualidade na resolução de problemas,
- combina e preserva o conhecimento dos especialistas,
- contempla hipóteses múltiplas simultaneamente,
- não é afetado por questões psicológicas, estresse e fatores externos,
- apresenta maior eficiência e otimização de resultados, e
- possui maior rapidez na resolução de problemas.

Sistemas Especialistas possuem uma arquitetura simples e fácil de trabalhar. Nas bibliografias [RIC94] [BIT02] e [RAB95] encontramos que ele compõe-se basicamente de três elementos:

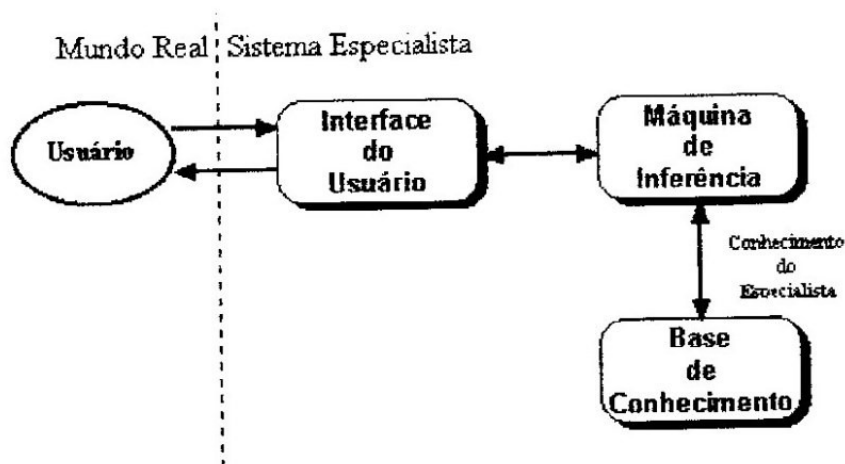


Figura 3.1: Arquitetura de um Sistema Especialista

- a **Base de Conhecimento** formada pela **Memória de Trabalho** onde estão armazenados os conhecimentos que descrevem a situação atual. Ela pode

conter qualquer tipo de estrutura de dados, mas deve respeitar um método de representação do conhecimento; e pela **Base de Regras** que contém a representação do conhecimento da memória de trabalho em forma de regras que em geral “envolvem variáveis a serem instanciadas e eventualmente algum tipo de inferência” [BIT02] e nos sistemas modernos podemos ter também mecanismos de raciocínio incerto;

- a **Máquina de Inferência** onde está concentrada toda a atividade do sistema que segundo Bittencourt [BIT02] ocorre em ciclos compostos de três fases: a primeira onde são selecionadas as regras que satisfazem a descrição da situação atual, a segunda onde são selecionados os conflitos<sup>17</sup> e a ordenação das regras e a terceira que é a execução das regras. Ainda segundo Bittencourt [BIT02] “... o próprio motor de inferência pode ser implementado como um sistema especialista de mais alto nível, que utiliza meta-regras para raciocinar sobre a aplicação das regras do domínio”; e
- a **Interface com o Usuário** que visa facilitar a comunicação entre o sistema especialista e o usuário, permitindo a interação com o sistema através da entrada de fatos e dados e da saída das informações em forma de perguntas, conclusões e explicações.

Ao desenvolver um Sistema Especialista os técnicos dispõem de programas que facilitam a implementação do raciocínio, aquisição e representação do conhecimento, são os chamados SHELS. Um shell além de possuir a vantagem de representar o conhecimento e o raciocínio de uma forma muito mais flexível ele possibilita o desenvolvimento de novos sistemas especialistas, ou seja, novas aplicações em novos domínios o que é chamado de *Aplicabilidade do Motor de Inferência*. Como exemplos de ferramentas shell podemos citar: ABORIST, EXSYS, INSIGHT, PERSONAL, CONSULTANT, NEXPERT e SMECI.

---

<sup>17</sup> conflitos são situações onde uma regra, apesar de satisfazer a descrição da situação atual, vem a se contrapor a alguma outra regra.

Segundo Bittencourt [BIT02], são considerados aspectos críticos quando da construção de sistemas especialistas:

**Interface com o usuário:** para se ter um bom sistema, qualquer que seja seu tipo de implementação, faz-se necessário uma interface amigável, com boa documentação e informações para que o usuário se sinta à vontade para utilizá-lo, nos Sistemas Especialistas ela requer ainda mais atenção;

**Interface de desenvolvimento:** sua importância está no fato de que a equipe envolvida com o desenvolvimento de um Sistema Especialista necessita para o bom andamento do projeto interfaces que facilitem a explicação, documentação e rápida prototipagem;

**Interface com o sistema operacional:** facilitar a comunicação entre sistemas já existentes e com aplicações convencionais como banco de dados, planilhas e sistemas de rede é de fundamental importância para assegurar que os sistemas especialistas não se afastem dos ambientes comerciais e assim se tornem mais utilizados e conhecidos;

**Motor de inferência:** suas funcionalidades é que garantem um bom desempenho do sistema, e são elas:

- **modo de raciocínio** – age diretamente sobre as regras de produção. Se compararmos os dados, parte esquerda da regra, com a descrição da situação atual contida na memória de trabalho buscando regras que satisfaçam esta descrição para que a parte direita seja executada, estamos utilizando o encadeamento dirigido por dados ou encadeamento para frente. Por outro lado, se temos uma lista de objetivos a serem alcançados que podem ser satisfeitos diretamente por elementos da memória de trabalho ou inferido por alguma regra que tenha uma descrição deste objetivo em sua parte direita, estamos utilizando o encadeamento dirigido por objetivos ou encadeamento regressivo. O tipo de encadeamento a ser utilizado depende das características do sistema, normalmente sistemas que apresentam poucas

saídas com um grande número de estados iniciais utilizam o encadeamento regressivo, além de que uma combinação de ambos é bem aceita. Outra característica importante que deve ser observada é a monotonicidade<sup>18</sup> ou não do método de inferência, onde o preço desta capacidade é ter que usar um mecanismo de revisão de crenças<sup>19</sup>;

- **estratégia de busca** – a escolha da estratégia de busca vai definir um bom desempenho do S.E., se ele vai conseguir encontrar a melhor solução e o tempo que levará para isso;
- **resolução de conflitos** – quando chegamos ao final de uma busca e encontramos diversas regras que satisfazem ao problema temos o chamado conjunto de conflitos, e então são necessários critérios para solucioná-los. Em geral bons sistemas especialistas dispõem de diversos métodos de resolução de conflitos e dão ao usuário a chance de selecionar qual deseja utilizar;
- **representação de incertezas** – Como representar a incerteza presente no sistema deve ser uma das preocupações do analista que deve selecionar entre as técnicas existentes a que melhor se adequar ao mesmo; e
- **representação de conhecimento** – requer da equipe de desenvolvimento um estudo profundo de qual método utilizar dependendo do tipo de sistema a ser implementado. Normalmente um único tipo de formalismo é utilizado, o que não impede que surjam sistemas híbridos de representação do conhecimento que devem dispor de mecanismos para integrar os diversos formalismos para que possam ser utilizados de forma única.

Como qualquer programa, um Sistema Especialista possui um ciclo de vida, entretanto as fases iniciais deste requer uma melhor verificação por parte de quem pretende iniciar um trabalho para que o mesmo não venha a se decepcionar com o resultado encontrado. Barreto [BAR97], descreve então as fases da seguinte forma:

---

<sup>18</sup> Sistemas monotônicos consideram que uma vez um fato declarado verdadeiro ele não pode mais tornar-se falso.

<sup>19</sup> Mecanismo de revisão de crenças torna falsas todas as conclusões baseadas em um fato que mudou de verdadeiro para falso e torna verdadeiras todas as conclusões baseadas em fato que mudou de falso para verdadeiro.

- estudo dos problemas relevantes a serem tratados pelo S.E: análise de oportunidade,
- análise funcional: após saber que um determinado S.E. tem uma potencial comunidade de usuários, torna-se necessário saber que funcionalidades são desejadas deste S.E.,
- conceituação: criação de modelo capaz de resolver o problema, inclusive a definição das ferramentas a serem utilizadas,
- elicitación do conhecimento,
- implementação,
- teste do S.E. utilizando problemas e soluções propostas por especialistas diferentes das usadas para construir a base de conhecimento e comparando as respostas do S.E. com o especialista,
- manutenção: atualização da base de conhecimento, melhoria da interface, etc., e
- morte.

### **3.6.2 Aprendizagem de máquina (*Machine Learning*)**

Tem como objetivos, o estudo e a compreensão dos processos de aprendizagem bem como o desenvolvimento de algoritmos que suportem estes processos. Além disso, estes algoritmos devem proporcionar mudanças de estados mentais, que venham a melhorar o desempenho dos mesmos na execução de suas atividades.

Ao se dotar um sistema de aquisição de conhecimento, onde o conhecimento é adquirido através da manipulação da base criada por um especialista, de métodos de Aprendizagem de Máquina, o mesmo passará então a ter procedimentos de formalização e implementação de aprendizagem tornando-se um sistema de aprendizado. Este sistema será então um módulo auxiliar que se ativa ao entrar em contato com o ambiente externo obtendo informações úteis para o mecanismo de inferência transformando e ampliando a base de conhecimentos, modificando o comportamento do sistema como um todo.

Uma grande variedade de abordagens para o aprendizado tem sido utilizada no elevado número de pesquisas nesta área. Devido a este fato não existe na bibliografia uma classificação dos tipos de aprendizagem considerada padrão. Como exemplo de classificação

podemos citar então a encontrada em [MIC90] que está estruturada na figura 3.2. Ela utiliza os critérios de:

- propósito da aprendizagem,
- tipos de entrada da informação para o processo de aprendizagem,
- inferência utilizada para geração de novos conhecimentos,
- e o papel do conhecimento já existente, no processo de geração de conhecimento.

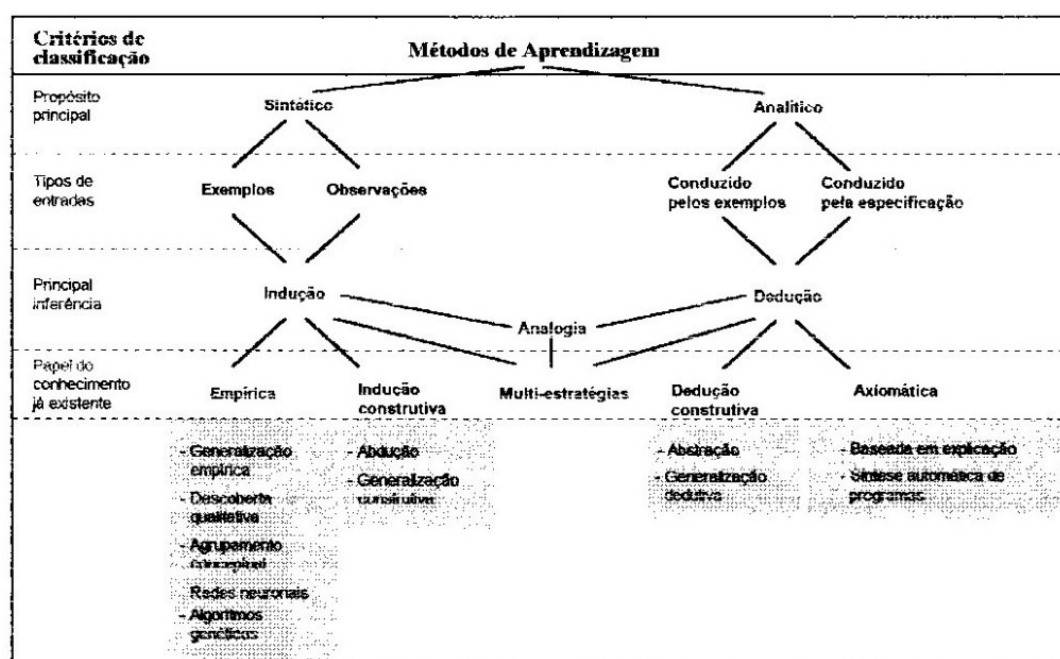


Figura 3.2: Esquema dos métodos de Aprendizagem

Como vimos existem diversas técnicas de aprendizado, para esta dissertação utilizamos a de indução de árvores de decisão. Este método de aprendizado supervisionado que constrói árvores de decisão a partir de um conjunto de exemplos tem, segundo Quinlan [QUI93], influenciado profundamente os estudos de aprendizado de máquina.

A inferência indutiva é um dos principais meios de criar novos conhecimentos e prever eventos futuros, assim o processo para usar observações a fim de descobrir regras e procedimentos é denominado indução. O processo de indução é indispensável na obtenção de novos conhecimentos pelo ser humano. Pode-se ousar em afirmar que a indução é o recurso mais utilizado pelos seres humanos para obter novos conhecimentos. Apesar disto, esse recurso deve ser utilizado com os devidos cuidados, pois, se o número de observações for

insuficiente ou se os dados relevantes forem mal escolhidos, as regras obtidas podem ser de pouco ou nenhum valor.

Existem dois tipos de entrada da informação para o processo de aprendizagem por indução [MIC90]:

- no **Aprendizado por Exemplos**, o aprendiz induz a descrição de um conceito formulando uma regra geral a partir dos exemplos e dos contra-exemplos fornecidos por uma fonte (professor, especialista, modelo simulado, etc.). O professor já tem o conhecimento do conceito e, assim, ele pode ajudar o aprendiz selecionando exemplos relevantes para aprender um determinado conceito. A tarefa do aprendiz é determinar as descrições gerais de um conceito, analisando exemplos individuais a ele fornecidos. Essa estratégia também é conhecida como aprendizado supervisionado; e
- no **Aprendizado por Observação e Descoberta**, o aprendiz analisa entidades fornecidas ou observadas e tenta determinar se alguns subconjuntos dessas entidades podem ser agrupados em certas classes (i.e. conceitos) de maneira útil. Como não há um professor que já tenha o conhecimento do conceito para fornecer exemplos significativos ao conceito a ser aprendido, essa estratégia é também chamada de aprendizado não supervisionado.

A indução de árvores de decisão é um método utilizado em AM para aprender conceitos quando objetos são descritos através de atributos. A saída do método é uma árvore onde cada folha está associada a uma classe, e cada nó interior especifica um atributo, e os ramos os possíveis valores dos atributos. Basicamente, a árvore é construída pelo particionamento recursivo dos exemplos em subconjuntos que contenham exemplos de uma única classe segundo o princípio de “*dividir e conquistar*”.

Este método pode ser aplicado a qualquer tipo de dado, deve-se, entretanto observar o tamanho da base de dados, pois se a mesma for muito volumosa além de tornar o processamento lento criando uma árvore complexa e muito grande, o que acarretará na perda da principal vantagem do método que é a de ser facilmente entendida, até mesmo pelo usuário [FON94].

Existe uma família de sistemas de A.M. que tem como característica a construção de árvores de decisão através de processos indutivos utilizando uma metodologia *Top Down*, isto é, a árvore é construída começando da raiz e descendo até as folhas. Essa família é denominada TDIDT - *Top Down Induction of Decision Tree*. Esse método representa o conhecimento adquirido através de exemplos observados em forma de árvores de decisão.

O algoritmo geral dos sistemas da família "TDIDT" tem como objetivo gerar a menor árvore de decisão que classifique corretamente todos os exemplos. Ele começa com uma árvore de decisão vazia que é refinada gradualmente até que classifique corretamente todos os exemplos da amostra. Deve ser observado que a árvore de decisão pode ser geral, no sentido de não apenas classificar objetos em duas classes - positiva e negativa - mas em múltiplas classes.

Para se construir uma árvore de decisão primeiro devemos definir um método para descobrir qual é o atributo mais relevante (ou melhor atributo) a ser utilizado para ramificar cada nó da árvore. Um dos métodos mais utilizados é o que utiliza a entropia<sup>20</sup>, isto é, o que escolhe o atributo verificando qual entropia ele gerará ao ser utilizado para ramificar a árvore. Para calcular a entropia de um determinado atributo é necessário calcular a entropia de uma ramificação, como quanto maior a entropia maior a desordem, [GRU89] "... é mais ou menos intuitivo que devemos escolher o atributo que produza a ramificação de menor entropia (e, portanto, de maior organização). De preferência, gostaríamos de ter entropia nula. Isto significa que, em um dado ramo, todas as classes são iguais e, portanto, não precisamos de mais nenhuma informação para descobrir uma determinada classe, basta saber em que ramo ela está. ....".

Muitos softwares para indução de árvore de decisão foram criados, o que obteve maior destaque foi o ID3 projetado por Ross Quinlan em 1979 [QUI93]. Este software sofreu inúmeras modificações gerando o ID4 em 1986 e ID5 em 1988. Em 1987 surgiu uma poderosa extensão deste software, o C.4.5 [QUI93] [BAR00], que tem como principal característica, que o destaca dos demais, a capacidade de executar testes sobre faixas de valores numéricos o que permite avaliar a desigualdade destes atributos com dois possíveis caminhos.

---

<sup>20</sup> Entropia - Entropia é uma grandeza que mede desordem, tanto de objetos físicos quanto de informações.

O método de construção de árvore de decisão por meio de particionamento recursivo divide o conjunto de casos até que cada subconjunto contenha casos de uma única classe ou até que nenhum outro teste ofereça algum tipo de melhora. Este algoritmo irá gerar então uma árvore complexa e grande de difícil entendimento por ter em cada nó um contexto específico estabelecido pelas saídas dos testes dos nós antecedentes. O C.4.5 trata então a árvore pelo processo de poda, tornando-a mais simples e mais eficiente. O processo de poda irá causar a mistura de alguns casos fazendo com que as folhas das árvores podadas não contenham necessariamente casos para uma classe simples, eles representarão especificações da distribuição de classes para cada classe, isto é, a probabilidade de que um caso presente na folha pertença à classe.

Além do mecanismo de poda outro recurso utilizado para simplificar a árvore de decisão é o processo de criação de janelas que funciona como um sistema de amostragem. Neste mecanismo uma janela, que é um subconjunto do conjunto de todos os exemplos, é escolhida de forma aleatória e proporcional a ocorrência de cada classe no conjunto de exemplos. A partir das janelas uma árvore de decisão é construída na forma de regras. Verifica-se a validade das regras procurando por exceções no conjunto dos exemplos restantes. Caso existam exceções, estas são então adicionados à janela e uma nova árvore é construída e testada sobre os outros exemplos que restaram fora desta nova janela. Este ciclo se repete até que não se consiga achar exceções nos exemplos fora da janela. Normalmente a janela final não conterá todos os exemplos e sim os mais capazes de guiar a construção da árvore.

### **3.6. Conclusão**

Para criarmos o sistema proposto e possibilitar a análise do domínio escolhido, desenvolvemos esta dissertação utilizando dentre os diversos meios que a Ciência da Computação fornece, a Inteligência Artificial. "I. A. é à parte da ciência da computação, concernente ao projeto de sistemas computacionais que exibem inteligência humana: aprender novas informações, entender linguagens, raciocinar e resolver problemas" [RAB95]. Podemos dividi-la em dois grandes grupos: as que utilizam métodos simbólicos, que se baseiam na idéia de que a inteligência constitui-se de operações simbólicas de comportamentos cognitivos [GAN97] a qual será utilizada nesta dissertação; e as que utilizam métodos Conexionistas, que se baseiam na maneira como se organiza e como funciona o cérebro humano [SKA96]. A peça

fundamental quando trabalhamos com I.A. é o conhecimento, definido como [FER77]: informação, notícia, ciência, prática da vida: experiência, e a forma como lidamos com ele, isto é, como o adquirimos, representamos e buscamos. Dentre os diversos tipos de sistemas de I.A. podemos destacar os Sistemas Especialistas, “... sistemas que devem apresentar um comportamento semelhante a um especialista em um determinado domínio” [RAB95]; e a Aprendizagem de Máquina, que trata do estudo e da compreensão dos processos de aprendizagem bem como o desenvolvimento de algoritmos que suportem estes processos. Dentre as diversas técnicas de A.M. podemos destacar a TDIDT - Top Down Induction of Decision Tree e para implementá-la o software C.4.5.

## Capítulo 4

### Modelo do Sistema

A partir do momento que o estudo das metodologias de apoio estava concluído passou-se a definir qual o modelo que seria utilizado. Esta definição precisou ser dividida em duas fases, a primeira que definiu como seria o estudo biomecânico e a segunda como o sistema em Inteligência Artificial implementaria este estudo.

#### 4.1. Modelo do estudo Biomecânico

Como já foi mencionado, seria impossível fazer um sistema genérico que analisasse qualquer habilidade dentro de qualquer desporto, assim foi dado um escopo ao sistema que foi o **serviço do tênis**. Portanto, a partir de agora, sempre que nos referirmos a desporto, devemos subentender que seja o tênis e a Habilidade o serviço.

Para fazermos a análise da habilidade neste estudo seguiremos a forma indicada por James Hay [HAY98] mostrada no capítulo 2 seção 3 :

##### 4.1.1 Determinar os objetivos da habilidade

Ao começarmos um jogo de tênis com um serviço, temos que executá-lo de forma que ele seja válido, e que ao mesmo tempo ele seja o mais difícil possível de ser devolvido pelo adversário. Quando é o primeiro serviço que está sendo executado, o atleta

pode ousar mais, por isso ele normalmente usa o estilo *Flat*, caso erre e tenha que ir para o segundo serviço ele ira tentar o *liftado* ou o *slice*.

Cada estilo tem suas características e sua forma de execução, portanto, temos aqui que novamente restringir o sistema e concentrarmos em um único estilo, o escolhido foi então o *flat*. Por ser um tipo de serviço onde a principal característica é a força, vamos considerar que o objetivo desta habilidade seja a velocidade com que a bola sai da raquete.

É importante ressaltar que analisaremos somente os saques considerados válidos, sendo que a definição do que seja um saque válido já foi definido na seção 1.3.

#### **4.1.2. Observar as características especiais da habilidade**

Quando analisamos o serviço, concluímos que segundo suas características especiais ele é: não repetitivo, previsível e para este estudo consideraremos não sujeito às alterações do tempo. Sendo assim, propicio para o tipo de estudo que estamos propondo.

#### **4.1.3. Estudar Desempenhos excelentes da habilidade**

Quando verificamos a performance dos grandes tenistas classificados entre os primeiros do *ranking* mundial, os mesmos apresentam desempenhos excelentes, isto é, todo grande campeão invariavelmente apresenta um grande serviço. Entretanto este trabalho não pretende definir um modelo de serviço, isto é, ele não visa encontrar um modelo de serviço que se encaixe para qualquer tenista, definindo um método único ideal para qualquer atleta executar esta habilidade. Ao contrário, ele pretende observando diversas repetições de um tenista definir a forma que ele executa melhor o movimento.

Utilizamos então o modo padrão de sacar presente nas bibliografias [DTB79][VAZ80] para verificar como o mesmo ocorre.

#### **4.1.4. Dividir a habilidade em fases**

Como já referenciamos, o serviço do tênis [DTB79] é normalmente dividido em: movimento preparatório, movimento de golpe e movimento final. Entretanto, para podermos analisar em termos de coordenadas, precisamos encontrar posições estratégicas para o golpe e que ao mesmo tempo estejam sempre presentes toda vez que esta habilidade for

executada, de forma que as posições, que passamos a chamar de momentos, dêem subsídios necessários para entendermos como o serviço ocorreu.

**Momento 1** – é o instante em que o atleta está com a bola unida à raquete à frente do corpo. Ela identifica o início da habilidade e o início do movimento preparatório (figura 4.1).

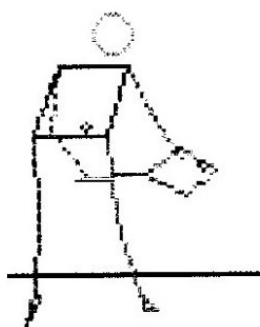


Figura 4.1 : Momento 1 no serviço do tênis

**Momento 2** – partindo do momento 1 o atleta leva o mais atrás do corpo possível seu braço direito flexionado o cotovelo, ao mesmo tempo o braço esquerdo joga a bola para cima. Este instante ainda pertence ao movimento preparatório (figura 4.2).

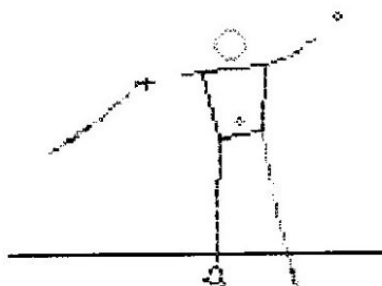


Figura 4.2 : Momento 2 no serviço do tênis

**Momento 3** – o atleta permanece na posição do momento 2 até que a bola alcance sua maior altura para começar a descer, o que indica o momento 3, acabando assim o movimento preparatório e começando o movimento do golpe (figura 4.3).

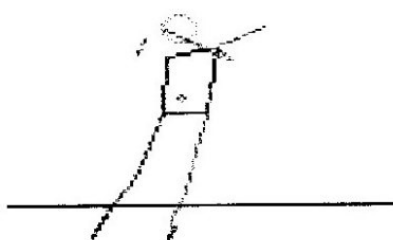


Figura 4.3 : Momento 3 no serviço do tênis

**Momento 4** – levando o braço que se encontrava atrás do corpo para cima fazendo um movimento de laço, para então bater com a raquete na bola. É nesse instante que o atleta completa o movimento do golpe. O momento 4 é caracterizado então pelo instante em que a bola e a raquete estão em contato, o que, além de encerrar o movimento de golpe, completa o ciclo da habilidade (figura 4.4).

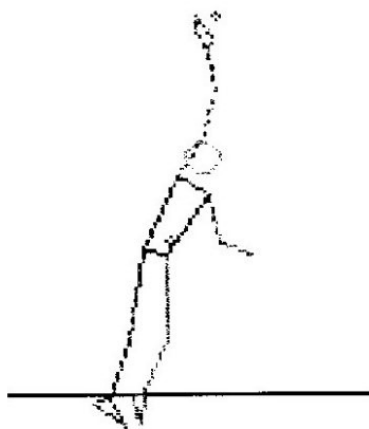


Figura 4.4 : Momento 4 no serviço do tênis

#### **4.1.5. Dividir cada Fase em Movimentos**

Precisamos identificar aqui quais os movimentos que fazem parte de cada fase, como no passo anterior foram encontrados momentos que caracterizam a habilidade, analisaremos então no lugar dos movimentos:

- a posição em que encontramos os seguintes segmentos corpóreos em cada momento:
  - afastamento dos calcanhares,
  - afastamento dos joelhos,
  - flexão/extensão do braço sobre o antebraço (direito e esquerdo), a angulação da articulação do cotovelo,
  - flexão/extensão do braço sobre o tronco (direito e esquerdo), a angulação da articulação do ombro,
  - distância do cotovelo em relação ao externo (direito e esquerdo), e
  - adução do tronco.
  
- a altura da bola;
- o tempo gasto para se chegar ao momento 2, momento 3 e momento 4;
- e no momento 4, além de verificarmos os fatores já mencionados, veremos a velocidade e a aceleração da raquete no momento em que bate na bola.

#### **4.1.6. Entender as razões mecânicas da execução de cada Movimento**

Neste estudo não serão feitas análises mecânicas cinéticas, isto é, analisaremos os movimentos sem nos preocuparmos com suas causas.

### **4.2. Modelo para o Estudo do Sistema Computacional de Suporte a Análise dos Movimentos**

Para a analisar o serviço do tênis como definimos no Modelo do Estudo Biomecânico precisamos dos seguintes passos:

#### 4.2.1. Dados de entrada

Todo sistema necessita de informações de entrada para que possa fornecer os resultados esperados, neste sistema temos como informação de entrada as coordenadas em 3D do movimento a ser analisado.

As coordenadas são obtidas através da filmagem do atleta executando a habilidade com marcadores em posições estratégicas. As câmeras devem ser de no mínimo 200Hz para p captar com precisão o movimento e devem estar ligadas a um sistema que faça a digitalização dos pontos e gere um arquivo texto com os dados (coordenadas X, Y e Z) do mesmo. Faz-se então necessário definir um padrão para a exata colocação destes marcadores para esta análise, pois se em cada filmagem alterarmos as posições o resultado não corresponderá à realidade.

Assim neste estudo os marcadores foram colocados para calcular:

- **o afastamento dos calcanhares** – no centro da parte frontal de cada calcanhar;
- **o afastamento dos joelhos** - no centro da patela<sup>21</sup> de ambas as pernas;
- **a flexão/extensão do braço sobre o antebraço do lado direito** – um no centro da parte frontal do punho direito, um segundo no centro da articulação do cotovelo direito e um terceiro no centro da articulação do ombro direito;
- **a flexão/extensão do braço sobre o antebraço do lado esquerdo** – um no centro da parte frontal do punho esquerdo, um segundo no centro da articulação do cotovelo esquerdo e um terceiro no centro da articulação do ombro esquerdo;
- **a flexão/extensão do braço sobre o tronco direito** - um no centro da articulação do cotovelo direito, um segundo no centro da articulação do ombro direito e um terceiro no ponto médio do esterno<sup>22</sup>;
- **a flexão/extensão do braço sobre o tronco esquerdo** - um no centro da articulação do cotovelo esquerdo, um segundo no centro da articulação do ombro esquerdo e um terceiro no ponto médio do esterno;

---

<sup>21</sup> Patela – osso localizado na frente da articulação do joelho [FER77].

<sup>22</sup> esterno – osso dianteiro do peito que se articula com as costelas [FER77].

- **distância do cotovelo direito em relação ao externo** – um no centro da articulação do cotovelo direito e outro no centro do esterno;
- **distância do cotovelo esquerdo em relação ao externo** – um no centro da articulação do cotovelo esquerdo e outro no centro do esterno;
- **adução do tronco** – um no centro do pescoço, um segundo no lado direito da pelve<sup>23</sup> e um terceiro no centro da patela;
- **altura da bola** – um colocado na bola;
- **velocidade e aceleração da raquete** – um colocado no centro da cabeça da raquete; e
- **velocidade que a bola sai da raquete após a mesma bater nela** – um colocado na bola.

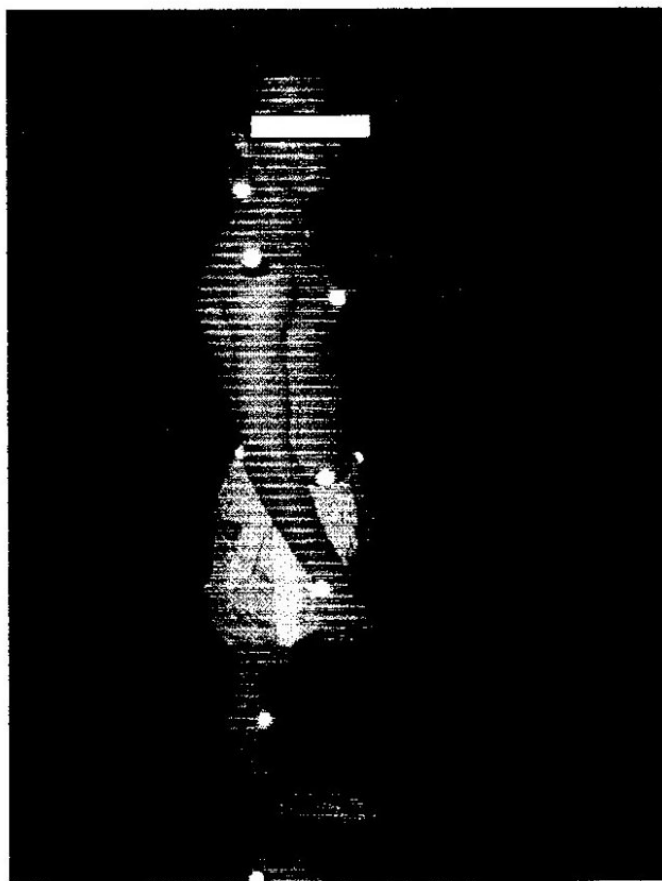


Figura 4.5: Atleta com marcadores

<sup>23</sup> pelve - é formada pela região sacral da coluna fundida a três outros ossos – o ílio, o ísquio e o púbis [HLAI.00]

Na figura 4.5 temos o exemplo de um atleta com marcadores: no pescoço, no esterno, no ombro direito, no cotovelo direito, no punho direito, no lado direito da pelve, na patela direita e no calcanhar direito.

#### 4.2.2. Pré-processamento

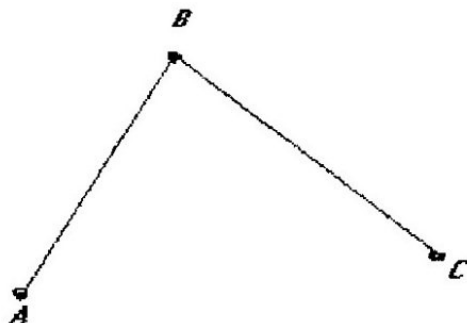
De posse das coordenadas necessárias (dados de entrada) o próximo passo é transformá-las nas métricas necessárias para se fazer a análise do movimento, sendo que as mesmas já foram explicitadas anteriormente. Utilizamos para tanto os cálculos de distância e cosseno diretor [SPI92] entre retas no espaço:

- para calcular a **distância** ( $d$ ) entre o ponto  $A(x_1, y_1 \text{ e } z_1)$  e o ponto  $B(x_2, y_2 \text{ e } z_2) =$



$$d = \sqrt{((x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2)} \quad (4.1)$$

- para calcular o **ângulo** formado pelos pontos  $A(x_1, y_1 \text{ e } z_1)$ ,  $B(x_2, y_2 \text{ e } z_2)$  e  $C(x_3, y_3 \text{ e } z_3)$ , calcula-se a distância ( $d_1$ ) entre os pontos A e B e a distância ( $d_2$ ) entre os pontos B e C pela fórmula anterior e então utiliza-se a seguinte fórmula :



$$l1 = (x2 - x1) / d1 \quad m1 = (y2 - y1) / d1 \quad e \quad n1 = (z2 - z1) / d1 \quad (4.2)$$

$$l2 = (x3 - x2) / d2 \quad m2 = (y3 - y2) / d2 \quad e \quad n2 = (z3 - z2) / d2 \quad (4.3)$$

utilizado em

$$\theta = \cos^{-1} ((l1 * l2) + (m2 * m1) + (n2 * n1)) \quad (4.4)$$

onde calculando

$$\arccos = ((l1 * l2) + (m2 * m1) + (n2 * n1)) \quad (4.5)$$

teremos o ângulo em radianos, e com a fórmula

$$\text{graus} = \text{radianos} \cdot 180 / \pi \quad (4.6)$$

transformamos de radianos em graus.

- para calcular a **velocidade** que a raquete obteve entre o momento 3 e o momento 4, que é a distância (D) (a somatória das distancias entre a posição que a raquete estava em um quadro e a posição que a raquete estava no quadro seguinte ) dividida pelo tempo (T) que levou entre o momento 3 e o momento 4.

$$V = D / T \quad (4.7)$$

- para calcular a **aceleração (A)** que é a velocidade (V) calculada acima, tendo em vista que a velocidade inicial (V0) é 0, dividida pelo tempo (T)

$$A = (V - V0) / T \quad (4.8)$$

Além dos cálculos acima, a velocidade que a bola possui ao sair da raquete, que é expressa em Kilometros por hora, também precisa sofrer alteração, pois caso contrário, ao utilizar os dados para gerar uma estrutura de dados em árvore que represente as variáveis que influenciam no movimento, teremos muitas classes o que dificulta a análise e não fornece um resultado satisfatório. Assim a velocidade é armazenada conforme os intervalos mostrados na tabela 4.1.

<b>Superior a :</b>	<b>Inferior a:</b>	<b>Armazena-se</b>
	61	60
60	81	80
80	101	100
100	111	110
110	121	120
120	131	130
130	141	140
140	151	150
150	161	160
160	171	170
170	181	180
180	191	190
190	201	200
200	211	210
210	221	220
	220	230

Tabela. 4.1: Valor da velocidade a ser armazenado conforme intervalo.

### 4.2.3. Definição das Características

Para comparar os serviços executados por um tenista vamos utilizar o software C.4.5 que se valendo de técnicas de Aprendizagem de Máquina de indução de árvore de decisão cria uma estrutura de dados que terá como classes a velocidade da bola e como atributos:

- o afastamento dos calcanhares,
- o afastamento dos joelhos,
- a flexão/extensão do braço sobre o antebraço do lado direito,
- a flexão/extensão do braço sobre o antebraço do lado esquerdo,
- a flexão/extensão do braço sobre o tronco direito,
- a flexão/extensão do braço sobre o tronco,
- a distância do cotovelo direito em relação ao externo,
- a distância do cotovelo esquerdo em relação ao externo,
- adução do tronco,
- a altura da bola, e
- a velocidade e aceleração da raquete somente no momento 4.

### 4.2.4. Classificador

O objetivo final do sistema é: de posse de diversas repetições de serviços de um tenista, fornecer a comparação entre um serviço qualquer deste e seu melhor ou pior desempenho, isto é a análise dos movimentos.

Para podermos fazer a comparação de um serviço com o melhor desempenho do tenista, o treinador escolhe qual execução deseja comparar e o sistema então percorre a árvore de decisão gerada com as tentativas e procura nos nós folhas o melhor desempenho, ou seja, a maior velocidade alcançada. Sabendo-se então em qual nó folha o desempenho esperado está armazenado, percorre-se a árvore de forma *bottom-up* guardando o caminho percorrida para se chegar ao nó raiz. Os atributos com seus respectivos valores, encontrados neste caminho, são então os considerados necessários para se executar o melhor serviço. Caso mais de um caminho seja encontrado considera-se o menor como o ideal. Caso dois caminhos contenham o mesmo número de ramos, será considerado o que possuir a maior porcentagem de acerto. Desta forma é mostrado na tela os atributos com os valores necessários para se executar o

serviço e alcançar o melhor desempenho e ao seu lado, os valores conseguidos com o serviço escolhido. A seguir o sistema sugere os posicionamentos que o atleta deve ter para repetir seu melhor desempenho.

Se o treinador escolher comparar com o pior serviço o sistema executará de forma análoga a anterior mudando apenas a procura da classe, que neste caso deve conter a menor velocidade conseguida pelo tenista em suas repetições.

A figura 4.6 demonstra de forma esquematizada qual é a seqüência lógica do sistema computacional desenvolvido.

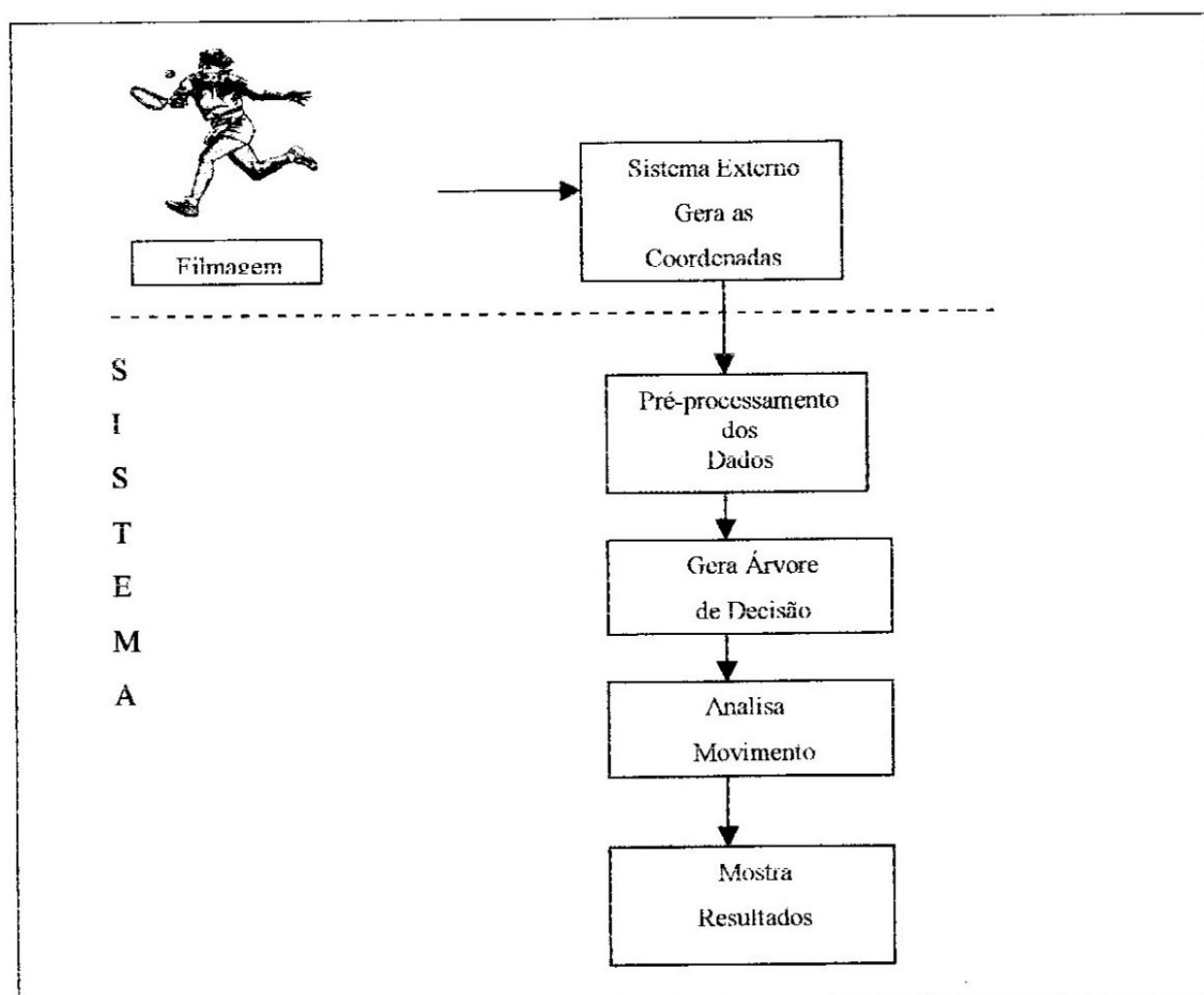


Figura 4.6: Esquema do sistema computacional

### 4.3. Conclusão

Definimos um modelo de estudo para o desenvolvimento prático desta dissertação. Este modelo está dividido nas duas áreas chaves que compõem este trabalho: a biomecânica e o Sistema de Informação.

No Modelo do Estudo Biomecânico foi analisado e definido o estudo da Habilidade Desportiva, Serviço do Tênis, detalhando como cada movimento de cada fase do movimento interfere no golpe como um todo. Para isso seguimos os seguintes passos:

- determinar os objetivos da habilidade desportiva,
- observar as características especiais da habilidade,
- estudar desempenhos excelentes da habilidade,
- dividir a habilidade em fases,
- dividir cada Fase em Movimentos, e
- entender as razões mecânicas da execução de cada Movimento.

No Modelo para o Estudo do Sistema Computacional de Suporte a Análise vamos definir como será a implementação do modelo biomecânico já determinado. Para isso definimos:

- os Dados de entrada,
- como será o Pré-processamento,
- a Definição das Características, e
- o modelo do Classificador.

## Capítulo 5

### O sistema de Suporte Computacional

Neste capítulo iremos descrever como trabalhar com o sistema computacional desenvolvido para dar suporte ao estudo de caso.

Ao iniciarmos o sistema aparecerá a tela inicial que está mostrada na figura 5.1.

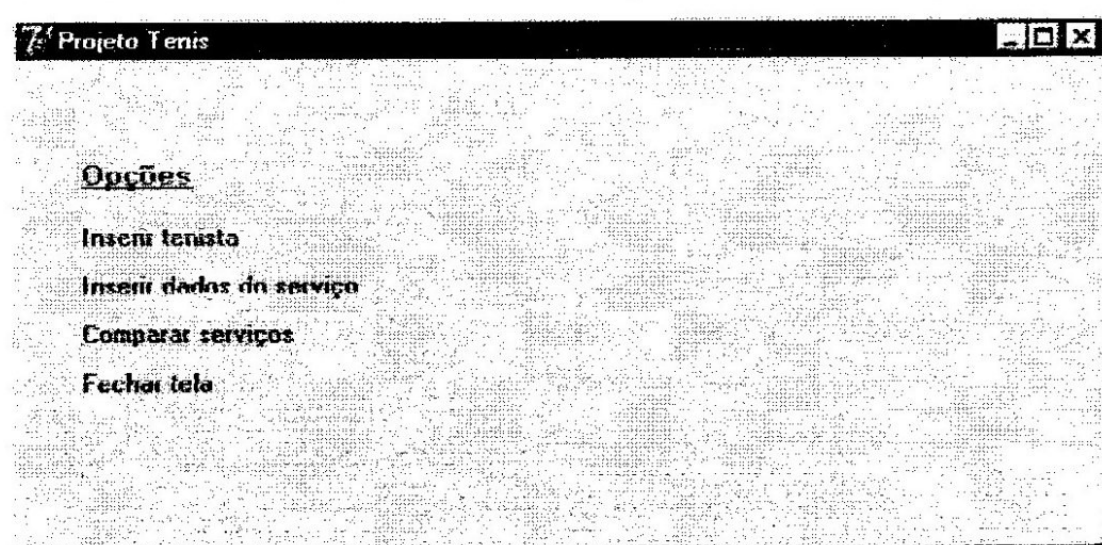


Figura 5.1: Tela inicial.

Devemos então escolher entre as seguintes opções:

- **inserir tenista** – para cadastrar novos tenistas,
- **inserir dados do saque** – para incluir novos serviços no banco de informações,

- **comparar serviço** – onde é escolhido o serviço e feita a comparação com o serviço padrão e com o pior serviço, e
- **fechar tela** – para encerrar o sistema.

Ao escolher a opção **inserir tenista** na tela inicial, aparecerá a tela que está na figura 5.2 que é a tela onde se cadastra o tenista.

Tenistas já incluídos	
Codigo	Nome Tenista
1	Lizete
2	Sérgio
3	João Augusto
4	Vanderlei

Figura 5.2: Tela para inserir tenista

Para se cadastrar um tenista é solicitado ao usuário digitar os seguintes dados:

- **código do tenista** - deve-se digitar um número entre 1 e 9999, este número servirá para identificar o tenista dentro do sistema,
- em seguida deve-se digitar em seqüência os seguintes dados do tenista:
  - **nome** - com no máximo 30 caracteres,
  - **data de nascimento** – no formato dia/mês/ano,
  - **nome do treinador** – com no máximo 30 caractere, e
  - **local de treino** – com no máximo 30 caracteres.
- finalmente deve-se escolher entre salvar ou cancelar as informações clicando nos respectivos ícones, e
- para retornar a tela principal deve-se clicar no ícone fechar.

Ao escolher a opção **inserir dados do serviço** na tela inicial, a tela que está na figura 5.3 será mostrada. É nessa tela que daremos entrada no sistema com as coordenadas obtidas na filmagem.

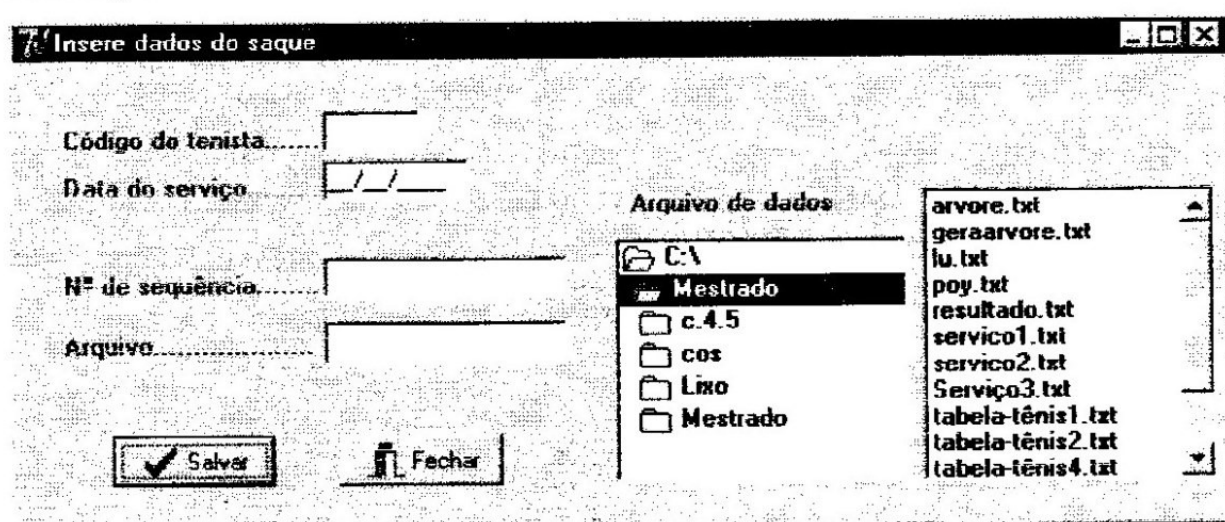


Figura 5.3: Tela para inserir os dados do serviço.

Precisamos fornecer as seguintes informações para inserir os dados do serviço:

- **código do tenista** – esta informação já deve ter sido cadastrado conforme mostrado anteriormente, se aquele código não tiver sido cadastrado será indicado erro e caso contrário o nome do tenista aparecerá ao lado do campo código,
- **data do saque** - deve-se fornecer a data que o serviço foi filmado no formato dia\mês\ano,
- **número de seqüência** – deve-se digitar um número entre 1 e 999 que servirá para indicar a seqüência deste saque no dia da filmagem,
- **arquivo** – no quadro identificado como arquivo de dados são mostrado os diretórios presentes no winchester da máquina onde o sistema está instalado. Deve-se então clicar sobre o diretório onde o arquivo que contém as coordenadas obtidas com a filmagem do serviço está localizado. Ao fazer isso no quadro ao lado aparecerá o nome de todos os arquivos texto. Deve-se então clicar sobre o arquivo que contém o serviço que estamos cadastrando. No quadro menor identificado por arquivo, aparecerá o nome do arquivo que selecionamos anteriormente, e

- finalmente confirmamos as informações clicando sobre o ícone identificado por **OK** ou cancelar as informações digitadas clicando sobre o ícone **cancelar**. Para voltar à tela inicial clicar sobre o ícone fechar.

O arquivo que contém as coordenadas do saque deve ser um arquivo texto e obedecer ao seguinte formato:

- na primeira linha deve estar a velocidade do serviço expressa em caracteres numéricos de tamanho 5 sem decimais;
- cada linha seguinte deve representar um quadro da filmagem, sendo que as informações devem ser caracteres numéricos de tamanho fixo 5, admitida a vírgula para separar decimais. Cada ponto a ser analisado deverá ter suas coordenadas cartesianas na seguinte ordem: x, y e z. Entre uma informação e outra não deve haver espaços nem separadores; e
- as linhas que representam os quadros da filmagem devem ter as coordenadas dos pontos expressas na seguinte ordem:
  - quadro
  - bola
  - raquete
  - tornozelo direito
  - tornozelo esquerdo
  - joelho direito
  - joelho esquerdo
  - esterno
  - ombro direito
  - ombro esquerdo
  - punho direito
  - punho esquerdo
  - cotovelo direito
  - cotovelo esquerdo
  - pescoço
  - pélvis direita

- pélvis esquerda

Se for escolhida a opção **comparar serviço** na tela inicial aparecerá a tela que está na figura 5.4. onde será mostrada a comparação do serviço selecionado com o melhor serviço (serviço padrão), e com o pior serviço.

The screenshot shows a window titled "Comparar saques" with the following layout:

- Input fields for "Tenista", "Data do saque" (with a date format " / / "), and "Sequência".
- Two comparison sections, each with three columns: "Movimento", "Saque analisado", and "Melhor saque" (for the top section) or "Pior saque" (for the bottom section).
- Buttons at the bottom: "Comparar", "Dica", "Imprimir", and "Fechar".

Figura 5.4: Tela para comparar serviços.

Para podermos fazer a comparação, devemos fornecer como informações do serviço a ser comparado:

- o **código do tenista**,
- a **data** que o serviço foi executado, e
- a **seqüência** deste serviço neste dia.

Em seguida clica-se sobre o ícone comparar. É neste momento que o sistema cria a árvore de decisão para então poder executar as comparações.

O usuário tem ainda a opção de imprimir a comparação e de pedir uma dica. Caso ele peça uma dica, uma nova tela será apresentada com a dica que representa dentre os itens mostrados o que deve ter maior influência sobre o serviço. Para retornar a tela inicial deve-se clicar sobre o ícone fechar.

## 5.1 Resultados Obtidos

Para se testar o sistema foram obtidas filmagens no Centro de Excelência em Biomecânica do Centro de Educação Física e Desporto da Universidade Para o Desenvolvimento do Estado de Santa Catarina. Utilizando então quatro câmeras de 180 Hz conectadas ao sistema Peak Performance Versão 4.0 da empresa Peak Motus que trata as filmagens como se as mesmas fossem feitas em câmeras de maior velocidade. Foram feitas três repetições do saque *flat* pelo atleta G. S., que está na categoria 14 anos.

A escolha do atleta se deu pela restrição da altura do laboratório, isto é, como não havia possibilidade de se deslocar às câmeras para que as filmagens fossem feitas em uma quadra, utilizou-se o próprio laboratório para isso. Como existe a necessidade de se calibrar as câmeras para que as mesmas possam fornecer as coordenadas para o sistema, e no laboratório este calibrador só alcança a altura máxima de 2 m. Como um atleta ao lançar a bola para então golpeá-la, normalmente joga-a a uma altura de 70 cm acima de sua cabeça, e como o atleta e a bola teriam que permanecer completamente dentro do enquadramento das câmeras, não seria possível utilizar para o teste um atleta adulto.

Devido às dificuldades de se conseguir tempo disponível no laboratório, e uma pessoa que fizesse a digitalização dos pontos, foram obtidas apenas 3 repetições do serviço sendo que o primeiro obteve a velocidade de 120 Km/h, o segundo 122 Km/h e o terceiro 119Km/h. Temos a seguir nas tabelas de 5.1 a 5.8 uma amostra das coordenadas obtidas com a filmagem, e no apêndice A elas estão colocadas por completo.

<b>TORNOZELO</b>						
<b>TEMPO</b>	<b>ESQUERDO</b>			<b>DIREITO</b>		
	X	Y	Z	X	Y	Z
0,005556	1,444	-0,177	1,002	1,889	-0,171	1,067
0,011111	1,442	-0,176	1,001	1,888	-0,168	1,059
0,016667	1,441	-0,175	1	1,886	-0,166	1,052
0,022222	1,439	-0,174	0,998	1,885	-0,163	1,046
0,027778	1,437	-0,173	0,997	1,884	-0,161	1,041
0,033333	1,436	-0,173	0,996	1,883	-0,158	1,037
0,038889	1,435	-0,172	0,995	1,882	-0,157	1,035
0,044444	1,433	-0,172	0,994	1,882	-0,155	1,033
0,05	1,432	-0,171	0,993	1,881	-0,154	1,032

Tabela 5.1: Coordenadas do ponto no tornozelo.

<b>JOELHO</b>						
<b>TEMPO</b>	<b>ESQUERDO</b>			<b>DIREITO</b>		
	X	Y	Z	X	Y	Z
0,005556	1,455	0,246	0,969	1,875	0,206	0,837
0,011111	1,453	0,244	0,967	1,875	0,206	0,836
0,016667	1,451	0,243	0,964	1,874	0,206	0,834
0,022222	1,449	0,242	0,961	1,873	0,206	0,833
0,027778	1,447	0,241	0,959	1,872	0,206	0,831
0,033333	1,444	0,24	0,956	1,871	0,206	0,83
0,038889	1,442	0,239	0,954	1,87	0,206	0,829
0,044444	1,44	0,238	0,951	1,869	0,206	0,827
0,05	1,439	0,237	0,949	1,868	0,206	0,826

Tabela 5.2: Coordenadas do ponto no joelho.

<b>PELVE</b>						
<b>TEMPO</b>	<b>ESQUERDO</b>			<b>DIREITO</b>		
	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
0,005556	1,575	0,635	1,03	1,848	0,618	0,938
0,011111	1,574	0,635	1,027	1,85	0,619	0,939
0,016667	1,573	0,634	1,025	1,852	0,621	0,939
0,022222	1,572	0,634	1,022	1,853	0,622	0,939
0,027778	1,571	0,634	1,02	1,854	0,623	0,939
0,033333	1,57	0,634	1,018	1,854	0,623	0,939
0,038889	1,569	0,633	1,016	1,853	0,623	0,939
0,044444	1,568	0,633	1,014	1,852	0,623	0,939
0,05	1,566	0,632	1,012	1,85	0,622	0,938

Tabela 5.3: Coordenadas do ponto na pelve.

<b>OMBRO</b>						
<b>TEMPO</b>	<b>ESQUERDO</b>			<b>DIREITO</b>		
	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
0,005556	1,924	1,031	0,797	1,525	1,036	0,975
0,011111	1,922	1,031	0,797	1,523	1,036	0,974
0,016667	1,92	1,031	0,797	1,521	1,036	0,972
0,022222	1,918	1,031	0,797	1,518	1,035	0,971
0,027778	1,916	1,031	0,798	1,516	1,034	0,97
0,033333	1,914	1,031	0,798	1,514	1,034	0,968
0,038889	1,912	1,03	0,798	1,512	1,033	0,967
0,044444	1,91	1,03	0,798	1,51	1,032	0,966
0,05	1,909	1,03	0,798	1,507	1,031	0,965

Tabela 5.4: Coordenadas do ponto no ombro.

<b>COTOVELO</b>						
<b>TEMPO</b>	<b>ESQUERDO</b>			<b>DIREITO</b>		
	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
0,005556	1,959	0,707	0,877	1,553	0,727	0,87
0,011111	1,959	0,708	0,878	1,552	0,727	0,87
0,016667	1,959	0,709	0,879	1,552	0,727	0,869
0,022222	1,959	0,709	0,88	1,552	0,726	0,868
0,027778	1,958	0,71	0,881	1,552	0,726	0,867
0,033333	1,958	0,71	0,882	1,551	0,726	0,866
0,038889	1,958	0,71	0,883	1,551	0,726	0,865
0,044444	1,957	0,71	0,884	1,551	0,725	0,864
0,05	1,957	0,71	0,885	1,551	0,725	0,862

Tabela 5.5: Coordenadas do ponto no cotovelo.

<b>PUNHO</b>						
<b>TEMPO</b>	<b>ESQUERDO</b>			<b>DIREITO</b>		
	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
0,005556	1,821	0,561	0,699	1,407	0,545	0,769
0,011111	1,821	0,56	0,7	1,409	0,543	0,77
0,016667	1,821	0,559	0,701	1,411	0,54	0,771
0,022222	1,821	0,557	0,702	1,412	0,538	0,772
0,027778	1,821	0,556	0,704	1,414	0,535	0,773
0,033333	1,822	0,554	0,705	1,415	0,532	0,774
0,038889	1,822	0,553	0,706	1,417	0,529	0,775
0,044444	1,822	0,551	0,708	1,418	0,526	0,776
0,05	1,909	1,03	0,798	1,507	1,031	0,965

Tabela 5.6: Coordenadas do ponto no punho

TEMPO	PESCOÇO			RAQUETE		
	X	Y	Z	X	Y	Z
0,005556	1,738	1,103	0,891	1,135	0,589	0,459
0,011111	1,734	1,103	0,895	1,136	0,58	0,458
0,016667	1,729	1,102	0,898	1,138	0,571	0,457
0,022222	1,725	1,102	0,901	1,139	0,562	0,456
0,027778	1,721	1,102	0,905	1,14	0,553	0,455
0,033333	1,717	1,101	0,907	1,141	0,543	0,454
0,038889	1,713	1,101	0,91	1,141	0,534	0,454
0,044444	1,709	1,101	0,912	1,142	0,525	0,454
0,05	1,706	1,101	0,914	1,143	0,515	0,454

Tabela 5.7: Coordenadas do ponto no pescoço e na raquete.

TEMPO	BOLA			ESTERNO		
	X	Y	Z	X	Y	Z
0,005556	1,315	0,478	0,72	1,682	0,898	0,881
0,011111	1,322	0,476	0,719	1,681	0,898	0,88
0,016667	1,328	0,473	0,718	1,68	0,898	0,879
0,022222	1,335	0,47	0,718	1,679	0,898	0,879
0,027778	1,34	0,468	0,718	1,678	0,897	0,878
0,033333	1,345	0,465	0,718	1,676	0,897	0,877
0,038889	1,349	0,461	0,718	1,675	0,897	0,877
0,044444	1,353	0,458	0,719	1,673	0,896	0,876
0,05	1,356	0,454	0,72	1,672	0,896	0,876

Tabela 5.8: Coordenadas do ponto na bola e no esterno.

O passo seguinte a obtenção das coordenadas que servem como entrada do sistema, é transformá-las em métricas. Temos demonstrado a seguir nas tabelas 5.9, 5.10, 5.11 e 5.12 as métricas para cada serviço em cada momento.

As métricas estão expressas nas unidades como segue:

- altura bola, distância calcanhares, distância joelhos e afastamento cotovelo, estão expressas em metros;
- flexão/extensão ombro, flexão/extensão braço, flexão/extensão perna e abdução tronco, estão expressos em graus;
- tempo de execução, em minutos; e
- velocidade e aceleração da raquete, em metros por minuto.

Entretanto somente três serviços seria muito pouco para se analisar a performance de um atleta, fizemos então a simulação de mais 14 serviços. Estas simulações foram geradas de forma aleatória, isto é, de posse dos serviços reais estes sofreram pequenas alterações para simular serem novos serviços. As respectivas métricas simuladas encontram-se no apêndice B.

<b>MOMENTO 1</b>	<b>Serviço 1</b>	<b>Serviço 2</b>	<b>Serviço 3</b>
<b>Altura bola</b>	0,658685	0,688942	0,714276
<b>Distância calcanhares</b>	0,418019	0,408252	0,449006
<b>Distância joelhos</b>	0,425635	0,42625	0,442632
<b>Inclinação ombro direito</b>	110,9594	117,3364	115,0933
<b>Inclinação ombro esquerdo</b>	145,1355	140,8874	139,2842
<b>Afastamento cotovelo direito</b>	0,349728	0,321877	0,336731
<b>Afastamento cotovelo esquerdo</b>	0,191437	0,201261	0,213638
<b>Flexão/Extensão braço direito</b>	66,68003	67,95368	71,67202
<b>Flexão/ Extensão braço esquerdo</b>	39,04394	29,91671	40,86863
<b>Flexão/ Extensão perna direita</b>	23,11173	32,04326	20,48349
<b>Flexão/Extensão perna esquerda</b>	31,27452	37,36742	45,48744
<b>Abdução tronco</b>	23,40157	17,78738	23,6061
<b>Tempo execução</b>	0,033333	0,016667	0,005556

Tabela 5.9.: Métricas das coordenadas reais no momento 1.

<b>MOMENTO 2</b>	<b>Serviço 1</b>	<b>Serviço 2</b>	<b>Serviço 3</b>
<b>Altura bola</b>	0,651346	0,693231	0,710601
<b>Distância calcanhares</b>	0,415102	0,406508	0,449249
<b>Distância joelhos</b>	0,430019	0,433758	0,444154
<b>Inclinação ombro direito</b>	111,3171	116,954	115,0537
<b>Inclinação ombro esquerdo</b>	145,7868	141,0003	139,4499
<b>Afastamento cotovelo direito</b>	0,346471	0,323988	0,336164
<b>Afastamento cotovelo esquerdo</b>	0,187926	0,202005	0,213084
<b>Flexão/Extensão braço direito</b>	65,04711	66,3914	71,43112
<b>Flexão/ Extensão braço esquerdo</b>	39,74626	29,76031	40,46273
<b>Flexão/ Extensão perna direita</b>	24,8727	32,65368	20,74889
<b>Flexão/Extensão perna esquerda</b>	31,87367	37,83772	44,89233
<b>Abdução tronco</b>	24,84296	18,76436	22,6768
<b>Tempo execução</b>	0,005556	0,011111	0,005556

Tabela 5.10: Métricas das coordenadas reais no momento 2.

<b>MOMENTO 3</b>	<b>Serviço 1</b>	<b>Serviço 2</b>	<b>Serviço 3</b>
<b>Altura bola</b>	0,656434	0,70868	0,706814
<b>Distância calcanhares</b>	0,417092	0,407566	0,447693
<b>Distância joelhos</b>	0,427996	0,430427	0,444649
<b>Inclinação ombro direito</b>	110,8683	116,0301	114,7147
<b>Inclinação ombro esquerdo</b>	146,0994	140,9439	139,4934
<b>Afastamento cotovelo direito</b>	0,351387	0,331222	0,337261
<b>Afastamento cotovelo esquerdo</b>	0,18731	0,20109	0,213237
<b>Flexão/Extensão braço direito</b>	66,03391	67,3584	71,45449
<b>Flexão/ Extensão braço esquerdo</b>	39,30697	31,87388	40,03175
<b>Flexão/ Extensão perna direita</b>	23,49697	33,26693	21,1766
<b>Flexão/Extensão perna esquerda</b>	31,20155	36,5623	44,71819
<b>Abdução tronco</b>	25,0284	18,37859	22,27973
<b>Tempo execução</b>	0,005556	0,011111	0,005556

Tabela 5.11: Métricas das coordenadas reais no momento 3.

<b>MOMENTO 4</b>	<b>Serviço 1</b>	<b>Serviço 2</b>	<b>Serviço 3</b>
<b>Altura bola</b>	0,648383	0,708771	0,702551
<b>Distância calcanhares</b>	0,414904	0,411433	0,448277
<b>Distância joelhos</b>	0,429244	0,430427	0,444871
<b>Inclinação ombro direito</b>	110,8678	116,5165	114,5816
<b>Inclinação ombro esquerdo</b>	146,301	140,5714	139,5049
<b>Afastamento cotovelo direito</b>	0,015418	0,011667	0,013067
<b>Afastamento cotovelo esquerdo</b>	0,001235	0,001702	0,002046
<b>Flexão/Extensão braço direito</b>	33,02034	27,038	44,28087
<b>Flexão/ Extensão braço esquerdo</b>	39,51129	31,98566	39,82186
<b>Flexão/ Extensão perna direita</b>	24,43659	32,45074	21,41888
<b>Flexão/Extensão perna esquerda</b>	31,12597	37,11404	44,37792
<b>Abdução tronco</b>	25,94257	17,32956	21,59257
<b>Tempo execução</b>	0,011111	0,005556	0,005556
<b>Velocidade Raquete</b>	0,001454	0,000842	0,000118
<b>Aceleração raquete</b>	0,130881	0,151586	0,021205

Tabela 5.12: Métricas das coordenadas reais no momento 4.

Dando continuidade ao processo as métricas foram utilizadas como dados de entrada para o *software* C4.5 que então gerou a árvore mostrada na figura 5.5.

```

4.5 [release 5] decision tree generator      Thu Nov 13 21:54:04 2003
-----
Options:
  File stem <geraarvore>
Read 17 cases (54 attributes) from geraarvore.dat
Decision Tree:
M1_Distancia_joelhos <= 0.44 : 120 (11.0)
M1_Distancia_joelhos > 0.44 : 130 (5.0)

```

Figura 5.5 : Árvore de decisão gerada pelo software C.4.5.

Com estas informações foi possível testar o protótipo e obtivemos as seguintes conclusões:

- que para este teste foi considerada a distância entre os joelhos a que influenciou para um melhor ou pior resultado do serviço;
- a escolha da colocação do ponto no pescoço para cálculo da métrica abdução do tronco não foi acertada, pois o pescoço sofre flexão dando distorções no resultado. O local mais adequado para o ponto seria o esterno;
- a escolha do ponto na pelve para calcular a flexão da perna não foi acertada, o local mais adequado seria a parte superior da coxa; e
- que o elevado número de fatores que influenciam no serviço torna o mesmo difícil de ser analisado unicamente pela observação do treinador.

Infelizmente não foi possível fazer novos testes alterando a posição dos pontos, como também não foi possível utilizar o resultado obtido no treinamento do atleta pois a maioria das repetições foi simulada. Mas concluiu-se que as informações são perfeitamente pertinentes, e que caso representassem realmente o mundo real, isto é, caso fosse resultado de 17 filmagens, poderia perfeitamente serem utilizadas no treinamento do atleta.

## 5.2 Conclusão

Este capítulo mostra como utilizar o protótipo do sistema desenvolvido com suas três fases:

- cadastrar tenistas,
- cadastrar serviços, e
- fazer comparações entre um serviço e seu padrão ou sua pior execução.

Os testes feitos com o protótipo, apesar de serem em pequeno número, demonstram um grande potencial para sistemas que ajudam no aperfeiçoamento de execução de habilidades desportivas. Mas também demonstram que o trabalho poderia ter sido muito mais desenvolvido se feito em conjunto com um laboratório de biomecânica.

## Capítulo 6

### Conclusão

Este estudo veio mostrar como a Educação Física possui um vasto campo para quem pretende desenvolver sistemas que envolvam a integração de diversas áreas do conhecimento. Mostrou também que para trabalharmos juntas a área desportiva e a da ciência da Computação, que aqui está representada pela análise de padrões de movimentos humanos, a Inteligência Artificial, assim como seus sub-campos, de Aprendizagem de Máquina e de Sistemas Especialistas, foram perfeitamente adequados. A análise da habilidade aqui proposta, do serviço flat no tênis, consegui determinar entre os movimentos que compõem a habilidade aqueles fundamentais para a execução de um serviço eficiente, isto é, válido e veloz. E através do sistema de informação, estes movimentos puderam ser analisados de forma mais minuciosa, utilizando para isso técnicas de Inteligência Artificial para implementar análises biomecânicas.

Assim conseguimos unir as duas áreas de trabalho e obter como resultado que é perfeitamente viável comparar repetições de uma mesma habilidade desportiva, encontrando nesta comparação, parâmetros para aprimorá-la.

Infelizmente, não podemos afirmar aqui que ela é muito útil em treinamentos, isto, devido a dificuldades de se obter as filmagens que fornecem as coordenadas que são os dados de entrada do sistema. Assim não conseguimos que uma quantidade significativa de serviços fosse analisada e então utilizadas em um treinamento real. Mas, o resultado gerado com as simulações em conjunto com as coordenadas reais obtidas com a filmagem do atleta André

Barros, foi mostrado ao treinador do mesmo, o professor Marcelo Bitencourt, o qual afirmou que usaria com certeza esta informação para direcionar o treinamento de seu atleta se o mesmo fosse gerado de dados reais. E além disso, nos relatou como essa informação, se real, tornaria seu plano de treinamento muito mais personalizado.

O que gostaríamos era que se tivesse formado um grupo de estudos composto por treinadores, atletas e analistas de sistema. O que seria o ideal para estudos deste tipo. Mas, é com toda certeza que podemos afirmar que o primeiro passo foi dado na direção de se obter este tipo de trabalho.

### **6.1. Proposta para Novos Trabalhos**

Este trabalho foi desenvolvido com o intuito de testar a possibilidade de analisar habilidades desportivas, e este teste foi feito com a habilidade serviço do desporto tênis. Infelizmente, devido à dificuldade de uso de equipamentos, os testes que foram feitos foram poucos. Caberia aqui um outro trabalho onde, com um número grande de testes, fossem feitas melhorias sobre o sistema existente incluindo mais métricas do serviço, maiores comparações, e a comparação de outros tipos de serviço, não só o *flat*. Pode-se inclusive testar a possibilidade de se comparar serviços de tenistas diferentes. Além deste software específico para o serviço do tênis, é possível também a construção de softwares para analisar outras habilidades de outros desportos o que gera uma gama muito grande de outros trabalhos na mesma linha que podem ser desenvolvidos.

Outra possibilidade de se desenvolver *softwares* utilizando metodologias de Inteligência Artificial voltado para a área do desporto, seria a de se testar a forma como o movimento está sendo executado verificando se a mesma está sendo executada de forma que após diversas repetições venha a causar lesões no atleta.

Na área de saúde este sistema fornece bases para que se compare, por exemplo, o movimento de uma pessoa com uma prótese ao mesmo movimento de uma pessoa sem prótese para se verificar possíveis problemas que as mesmas venham a causar.

São, portanto inúmeros os trabalhos que podem vir a surgir da idéia inicial aqui lançada.

## Referências Bibliográficas

- [AI02] Artificial Intelligence. *Games Solved: Now and in the Future*, 134, n. 1-2, Jan 2002.
- [AMA00] AMADIO, A. C. *A Biomecânica do Movimento Humano e suas Relações Interdisciplinares*. Editora Estação Liberdade, São Paulo, 2000.
- [AME99] American Sport Education Program. *Ensinando Tênis para Jovens*. Editora Manole, São Paulo, 1999.
- [ANA99] Anais VIII Congresso Brasileiro de Biomecânica, Florianópolis, 1999.
- [ARI02] ARIEL DYNAMICS COMPANY. Disponível em: <[www.arielnet.com](http://www.arielnet.com)>. Acesso em: 01 jan 2002.
- [ATK98] ATKINSON, G. ; SPEIRS, L. Diurnal Variation in Tennis Service. *Perceptual and Motor Skills*, University of Florida, 86, 1335-1338, Apr 1998.
- [BAR97] BARRETO, J. M. *Inteligência Artificial no Limiar do Século XXI*. ppv Edições, Florianópolis, 1997.
- [BAR99] BARROS, R.M.L. ; et al. Desenvolvimento e Avaliação de um Sistema para Análise Cinemática Tridimensional de Movimentos Humanos, *Revista Brasileira de Engenharia Biomédica*, v15,nº1-2, 79-86 Jan/ago 1999.
- [BAR00] BARANAUSKAS, J. A.; MONARD, M. C. *An unified overview of six supervised symbolic machine learning inducers*. Relatórios Técnicos do ICMC, São Carlos, USP, n. 103, 2000.

- [BIN03] BINTI ABDULLAH, N. N.; LIQUIÈRE, M.; Cerri, S. A. *Gasrule for Knowledge Discovery*. *Applied Artificial Inteligence*, 17, n. 5-6, 399-417, May-July 2003.
- [BIT95] BITTENCOURT, G. *Um ambiente para ensino e desenvolvimento de sistemas especialistas*. In III Workshop sobre Educação em Informática/IV Congresso Ibero-Americano de Educação Superior em Computação, Canela, 1995.
- [BIT02] BITTENCOURT, G. *Inteligência Artificial: Ferramentas e Teorias*. 2ª Edição. Editora da UFSC, Florianópolis, 2001.
- [BOU98] BOUCHARD, L. J.; SINGER, R. N. Effects of the Five-step Strategy with videotape Modeling on performance of the Tennis Serve. *Perceptual and Motor Skills*, University of Florida, 86, 739-746, Apr 1998.
- [BRA01] BRAGA NETO, L.; SERRÃO, J. C.; AMADIO, A. C. . *Análise dinâmica de duas técnicas aplicadas ao saque no tênis de campo: "foot-up" e "foot-back"*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMECÂNICA, 9, Porto Alegre. Anais do IX CBB vol. 2. Porto Alegre:UFRGS,2001. 39-43
- [BRO00] BROWN, J. *Tênis Etapas para o Sucesso*. 2ª edição. Editora Manole, 2000.
- [BUC78] BUCHANAN, B.G., FEIGENBAUM, E.A., "DENDRAL and Meta-DENDRAL: Their Applications Dimension" *Artificial Intelligence*, 11(1,2), pp. 5-24, 1978.
- [BYP02] BIOMECHANICS YELLOW PAGES. Disponível em: <[www.isbweb.org/~byp](http://www.isbweb.org/~byp)>. Acesso em: 05 dez 2002
- [CAR98] CARR, G. *Biomecânica dos Esportes: um guia prático*. Editora Manole , Universidade de Victoria, 1998.
- [CAR01] CARMO, J. C. DO C.; XAVIER, A. C.; FARIAS, E.J. DE; et al. *Instrumentação Biomecânica Integrada em Computador Baseada na Ferramenta*

*labview*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMECÂNICA, 9,2001,Porto Alegre. Anais do IX CBB vol. 1. Porto Alegre:UFRGS,2001. 106-111.

[CEN02] UNIVERSIDADE PARA O DESENVOLVIMENTO DO ESTADO DE SANTA CATARINA/CENTRO DE EDUCAÇÃO FÍSICA E DESPORTOS . Disponível em: <[www.udesc.br/cefid](http://www.udesc.br/cefid)> . Acesso em: 10 jul.2003.

[CHO87] CHORAFAS, D. N. , *Applying expert systems in business*. Editora Mcgraw-Hill, New York,1987.

[COR98] CORREA, S.C.; et al. *Mechanical Energy Differences Between Walking and Running at Different Velocities on a Treadmill*. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BIOMECHANICS IN SPORTS, 16, Germany. Annals of ISBS'98 Proc. 1: Konstanz: University of Konstanz,1998, 81-84

[DPR98] DEPRÁ, P.; BREZIKOFER, R.; GÓES, M.; et al. *Fluid Mechanics analysis in volleyball services*. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BIOMECHANICS IN SPORTS, 16, Germany. Annals of ISBS'98 Proc. 1: Konstanz: University of Konstanz,1998, 85-88.

[DTB79] Deutscher Tennis Bund. *Tênis: Golpes Básicos*, Vol. 4 Editora Ao livro técnico,Rio de Janeiro,1979.

[FER77] FERREIRA, A. B. H., *Novo Dicionário da Língua Portuguesa*. Editora Nova Fronteira, Rio de Janeiro, 1977.

[FON94] FONSECA, J. M. M. R. *Indução de árvores de decisão : HistClass*. Lisboa, 1994.. Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa.

[FOR01] FORMASARI, C. A. *Manual para Estudo da Cinesiologia*, Editora Manole, São Paulo, 2001.

[FRA81] FRACCAROLI, J. L. *Biomecânica: Análise dos Movimentos*. 2ª Edição. Editora Cultura Médica,Rio de Janeiro, 1981.

- [GAN97] GANASCIA, J. *Inteligência Artificial*. Editora Ática, São Paulo, 1997.
- [GAR01] GARGANTA, J. *A Análise da performance nos jogos desportivos*. Revista portuguesa de ciência do desporto, Porto, 1, n. 1, 57-64, Jan. 2001.
- [GRU89] Grupo Arariboia. *Inteligência Artificial: um Curso Prático*. Editora LTC, Rio de Janeiro, 1989
- [HAL00] HALL, S. J., *Biomecânica Básica*. 3ª Edição. Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 2000.
- [HAM99] HAMIL, J.; KNUTZEN, K. *Bases Biomecânicas do Movimento Humano*, Editora Manole, São Paulo, 1999.
- [HAY85] HAY, J. G. *As bases Anatômicas e Mecânicas do Movimento Humano*. Editora Prentice-Hall, Rio de Janeiro, 1985.
- [HAY98] HAY, J. G. *Biomecânica das Técnicas Desportivas*. 2ª Edição. Editora Interamericana, Rio de Janeiro, 1998.
- [HEN98] HENNING, E.M. ; SCHNABEL, G. *A Method to Determine Ball Impact Location And Its Movement Across The Strings of a Tennis Racket*. In :International Symposium on Biomechanics in Sports, 16, Germany. Annals of ISBS'98 Proc. 2: Konstanz: University of Konstanz, 1998, 178-181.
- [IJP00] International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 14, n1-2, Jan. 2000
- [ISB02] INTERNATIONAL SOCIETY OF BIOMECHANICS. Disponível em: <[www.isbweb.org](http://www.isbweb.org)>. Acesso em: 10 dez 2002.
- [KNU01] KNUDSON, D. V. *Análise Qualitativa do Movimento Humano*. Editora Manole, São Paulo, 2001.

[LEM02] LABORATÓRIO PARA ESTUDOS DO MOVIMENTO DA UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO. Disponível em: <[www.igce.unesp.br/ib/efisica/lem](http://www.igce.unesp.br/ib/efisica/lem)>. Acesso em: 10 jan 2003.

[LPO98] LOPES, G. A. D.; et al. *Three-Dimensional Reconstruction of Human Motion Based on Images from a Single Camera*. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BIOMECHANICS IN SPORTS. Germany. Annals of ISBS'98 Proc. 1: Konstanz: University of Konstanz,1998, 510 – 513.

[MIC90] MICHALSKY, R. S., KODRATOFF, Y. , *Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach*, Volume III, Morgan Kaufmann, 1990.

[MIS01] MISUTA, M. S.; BARROS, M.L.; FIGUEIROA, P.J.; et al. *Análise Automática de Deslocamento de Jogadores de Futebol*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMECÂNICA, 9,2001,Porto Alegre. Anais do IX CBB Vol. 1. Porto Alegre:UFRGS,2001. 161-165.

[NAB98] NAB, D.; HENNING, E. M.; SCHNABEL, G. *Ball Impact Location on a Tennis Racket Head and its Influence on Ball Speed, Arm Shock, and Vibration*. In :International Symposium on Biomechanics in Sports, 16, 1998, Germany. Annals of ISBS'98 Proc. 2: Konstanz: University of Konstanz,1998, 229-232.

[OTT02] THE REAHABILITATION CENTER / OTTAWA HOSPITAL. Disponível em: <[www.rehab.on.ca/cag](http://www.rehab.on.ca/cag)>. Acesso em: 05 dez 2002.

[PAL98] PALASTANGA, D.; et al. *Anatomia e movimento Humano: estrutura e função*. 3ª edição. Editora Manole. São Paulo, 1998.

[PEA98] PEAK START MANUAL – MOTUS ENGLEWOOD, 1998.

[PER01] PERL, j. *Artificial Neural Networks in Sports: New Concepts and Approaches*. International Journal of Performance Analysis in Sport, 1, n. 1, 106-121, Jul. 2001.

- [QUI93] QUILAN, J. R. *C4.5 : programs for Machine Learning*. Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo, 1993.
- [RAB95] RABUSKE, R. A. *Inteligência Artificial*. Editora da UFSC, Florianópolis, 1995.
- [RAS91] RASCH, P. J. *Cinesiologia e anatomia aplicada*. 7ª Edição. Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 1991.
- [RIB87] RIBEIRO, H. C. S. *Introdução aos sistemas especialistas*. Editora Livros técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 1987.
- [RIC94] RICH, E. *Inteligência Artificial*. 2ª edição. Makron Books do Brasil Editora Ltda, Rio de Janeiro, 1994.
- [ROE01] ROESLER, L. M.; MARTINS, C.; PIMENTEL, G.L.; et al. *Estudo Dinamométrico da Descida de degraus de Grandes Alturas*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMECÂNICA, 9, Porto Alegre. Anais do IX CBB Vol. 1. Porto Alegre:UFRGS, 2001. 117-122.
- [SAV99] SAVELBERG, H. H. C. M.; LANGE, A. L. H. D. *Assessment of the horizontal, fore-aft component of the ground reaction force from insole pressure patterns by using artificial neural networks*. 14, n. 8, 585-592, Oct. 1999.
- [SBB02] SOCIEDADE BRASILEIRA DE BIOMECÂNICA. Disponível em: <[www.usp.br/eef/sbb](http://www.usp.br/eef/sbb)>. Acesso em: 10 dez 2002.
- [SCH02] SCHAEFFER, J. ; HERIB, H.J.V.D. Games, Computers, and artificial Intelligence. *Artificial Intelligence*, 134, n. 1-7, Jan 2002.
- [SET88] SETTINERI, L. I. C. *Biomecânica: Noções Gerais*. Editora Livraria Atheneu, Rio de Janeiro, 1988.

[SHO96] SHORTLIFFE, E. H., Lawrence. M.F., Henrion, Max, *Reasoning under uncertainty in medical decision-support*. Disponível em: <[www.camis.stanford.edu/Reasonin.htm](http://www.camis.stanford.edu/Reasonin.htm)>. Acesso em: 12 fev 2003.

[SIM02] SIMI MOTION CORPORATION. Disponível em: <[www.simi.com](http://www.simi.com)>. Acesso em: 01 jan 2002.

[SPI02] SPICA TECHNOLOGY CORPORATION, INC.. Disponível em : <[www.spicatec.com](http://www.spicatec.com)>. Acesso em: 01 jan 2002

[SPI92] SPIEGEL, M. R. *Manual de fórmulas e tabelas matemáticas*. 2ª edição. Editora McGraw-Hill, São Paulo, 1992.

[SKA96] SKAPURA, D. M. *Building Neural Networks*. Addison-wesley publishing Company, New York, 1996.

[UFR02] UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. Disponível em: <[www.ufrj.br](http://www.ufrj.br)>. Acesso em: 10 abr 2003.

[UNI02] UNIVERSITY OF MICHIGAN. Disponível em: <[www.umich.edu](http://www.umich.edu)> Acesso em: 08 dez 2002.

[VAL99] VALLE FILHO, A. M.; FERNANDES, E. S.; SCREMIN, M. A. A. ; et al. Uma rede neural para auxílio na avaliação física de árbitros de futebol. *Revista brasileira de ciências do esporte*. 21, n. 1, 972-975, set. 1999.

[VAZ80] VAZ, F. *ABC do tênis*. 3ª Edição. Editorial Presença, Lisboa, 1980.

[ZEL97] ZELIC, I.; KONONENCA, I.; LAVRAC, N.; et al. *Induction of Decision Trees and Bayesian Classification Applied to Diagnosis of Sport Injuries*. 21, n.6, 429-444, dec. 1997.

[ZHA03] ZHANG, D.; ISAI, J.J. P. . *Machine Learning and Software Engineering*. *Software Quality Journal*, 11, n. 2, 87-119, Jun. 2003.

## *Apêndice A*

### *Tabela das Coordenadas*

**A. 1. – Coordenadas do primeiro serviço.**