

Estudo dos Mecanismos de Transferência de Energia do Aléu para a Bola no Remate de Hóquei em Patins

João Nuno Assunção Neves dos Santos

Dissertação do MIEM

Orientador na FEUP: Prof. Mário Vaz



FEUP

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Junho 2012

Estudo dos Mecanismos de Transferência de Energia do Aléu para a Bola no Remate de Hóquei em Patins

Redigido Segundo o Novo Acordo Ortográfico

Estudo dos Mecanismos de Transferência de Energia do Aléu para a Bola no Remate de Hóquei em
Patins

Aos meus Pais

Estudo dos Mecanismos de Transferência de Energia do Aléu para a Bola no Remate de Hóquei em Patins

Resumo

Neste trabalho pretende-se conhecer em detalhe os mecanismos de transferência de energia que são mobilizados durante o impacto do “*stique*”, também chamado de aléu, com a bola. As propriedades mecânicas do aléu, normalmente construído em madeira de freixo, a sua distribuição de massa e o seu comportamento à flexão e/ou torção influenciam a velocidade terminal da bola.

O conhecimento em profundidade da forma como todos estes parâmetros interferem na realização do remate permitirá fazer a otimização deste movimento por forma a aumentar a sua eficiência. Deste modo poderão ser concebidos melhores aléus e influenciar o treino físico por forma a tirar melhor partido da energia disponibilizada pelo atleta durante o movimento.

O parâmetro analisado com maior profundidade neste trabalho foi o tempo de contacto e a forma como este influencia o remate.

Foi estudado o remate com a bola a bater na ponta da pá do aléu para perceber se este tipo de remate é mais eficiente que o remate normalmente efetuado. Foram efetuadas análises de tensões e deformações em dois aléus diferentes através do Método dos Elementos Finitos, bem como da precisão do remate atrás mencionado e do tempo de contacto entre a bola e o aléu.

Estudo dos Mecanismos de Transferência de Energia do Aléu para a Bola no Remate de Hóquei em Patins

Abstract

This paper seeks to know in detail the mechanisms of energy transfer that are mobilized during the impact between stick, also known as aléu with the ball. The mechanical properties of stick, usually built of ash wood, its mass distribution and its behavior in bending and / or twisting influence the terminal velocity of the ball.

The in-depth knowledge of how all of these parameters interfere in the shoot will allow the optimization of this movement in order to increase its efficiency. Thereby better sticks could be designed and it would be possible to influence the physical training in order to make a better use of the energy provided by the athlete during this movement.

The parameter better analyzed in this paper was the contact time and how this influences the shot.

This paper studies the shot with the ball hitting the tip of the stick blade to see if this type of shot is more efficient than the one usually made. Were done stresses and strains analyzes in two different sticks through the Finite Element Method, as well as the accuracy of this shot and the aforementioned contact time between ball and stick.

Estudo dos Mecanismos de Transferência de Energia do Aléu para a Bola no Remate de Hóquei em Patins

Agradecimentos

Ao meu orientador, Professor Doutor Mário Vaz pelo apoio prestado, pela disponibilidade e esclarecimento de dúvidas.

Aos colaboradores do Laboratório de Ótica e Mecânica Experimental – LOME, nomeadamente, ao Engenheiro Nuno Viriato, a ele o meu muito obrigado pela disponibilidade, paciência e ajuda prestada.

A todos os elementos da equipa sénior do Clube Académico da Feira pela disponibilidade para realizar os ensaios de precisão, com especial atenção para o atleta Rui Andrade e para os treinadores Fernando Moreira e Bruno Reis por todo o apoio demonstrado.

Aos atletas da equipa sénior do HC Turquel, a desde quem já felicito pela promoção à primeira divisão nacional, por me responderem a algumas perguntas que me ajudaram a reunir alguma informação presente nesta tese.

Ao Diogo Silva por me ter ajudado no projeto do mecanismo que permitiu parte deste trabalho possível.

Ao José Ferreira e ao Ricardo Lopes por toda a informação e ajuda disponibilizada para a realização deste trabalho.

Aos meus pais, irmão e avó por todo o apoio dado ao longo de todo o meu percurso académico, nunca deixando de acreditar em mim, dando-me sempre motivação, força e estando sempre ao meu lado nos bons e nos maus momentos.

A Joana Donas, pelo apoio prestado, não deixando que baixasse os braços nos momentos mais complicados do meu percurso académico.

A todos os amigos por toda a ajuda, companheirismo e pela palavra amiga sempre presente quando foi necessária.

A todos, o meu Muito Obrigado

Estudo dos Mecanismos de Transferência de Energia do Aléu para a Bola no Remate de Hóquei em Patins

Índice de Conteúdos

1. Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Hipóteses	2
2. Estado de Arte	3
2.1 O Estudo do Hóquei em Patins	3
2.2 Desportos de Impacto	4
2.3 Comparação entre Hóquei em Patins e Hóquei no Gelo	5
2.4 O Projétil	6
2.4.1 Coeficiente de Restituição	7
2.5 <i>Stick</i> / Aléu	7
2.5.1 O Manejo do Aléu	9
2.6 Remate	11
3. Estudo do Remate no Hóquei em Patins	17
3.1 Velocidade do Remate	17
3.1.1 Trocas Energéticas no Desporto	17
3.1.2 Estudo Energético do Remate	23
3.1.3 Formas de Aumentar a Velocidade do Remate	29
3.2 Precisão	42
4. Remate com a Ponta do Aléu	47
5. Projeto de Construção do Mecanismo de Ensaio do Remate	49
5.1 Primeira Solução Proposta	49
5.2 Segunda Solução Proposta	51
5.3 Terceira Solução Proposta	52
6. Material e Métodos	55
6.1 Extensometria Elétrica	55
6.2 SolidWorks® (v.2010)	55
6.3 Matlab® R2011a	55
6.4 Kinovea®	55
6.5 Camara de Alta Velocidade	56
7. Procedimento Experimental	57
7.1 Calibração dos Modelos	57
7.2 Análise da Precisão do Remate de Ponta	65

Estudo dos Mecanismos de Transferência de Energia do Aléu para a Bola no Remate de Hóquei em Patins

7.2.1 Primeiro Protocolo da Análise da Precisão	66
7.2.2 Segundo Protocolo da Análise da Precisão	67
7.3 Análise do Remate com a Ponta do Aléu	68
8. Apresentação e Discussão de Resultados	71
8.1 Tensões Presentes num Remate	71
8.2 Análise dos Modos Naturais de Vibração dos Aléus	75
8.3 Análise da Precisão dos Diferentes Tipos de Remate	79
8.3.1 Primeiro Protocolo da Análise da Precisão	79
8.3.2 Segundo Protocolo da Análise da Precisão	80
8.4 Análise do Remate com a Ponta do Aléu	83
8.4.1 Tempo de Contacto	83
8.4.2 Ângulo com que a Bola sai do Aléu	84
8.4.3 Força Realizada pelas Molas	85
9. Conclusões e Perspetivas de Trabalho Futuros.....	87
10. Bibliografia	89
11. Anexos	93
Anexo A – Vista Explodida da Primeira Solução.....	93
Anexo B – Pormenor do Apoio de Trás na Segunda Solução	94
Anexo C – Protocolo da Primeira Experiência da Precisão.	95
Anexo D – Protocolo da Segunda Experiência da Precisão.....	96

Lista de Figuras

Figura 1 - Brasão da cidade de Vila Real	2
Figura 2 - Imagem dos três tipos de bolas	6
Figura 3 – Exemplo de um aléu de Hóquei em Patins normalizado.....	8
Figura 4 – Esquema de um <i>stick</i> de hóquei no gelo normalizado.....	8
Figura 5 - Exemplo de pega no hóquei em patins.....	9
Figura 6 - Tipos de contacto entre o aléu e a bola	10
Figura 7 – Tipos de remate considerando o contacto entre o aléu e a bola.....	10
Figura 8 - Zonas dos diferentes remates.....	11
Figura 9 - Remate Colado. Neste caso efetuado da forma reversa	12
Figura 10 - Remate Enrolado.....	13
Figura 11 - Remate Arrastado	13
Figura 12 - Remate Batido.....	14
Figura 13 - Remate Pranchado	14
Figura 14 - Toque de Desvio.....	15
Figura 15 - Caminhos da energia mecânica dos músculos para a performance desportiva.....	17
Figura 16 - Relação Força produzida pelo músculo - Comprimento de uma célula muscular quando executa a Força	18
Figura 17 - Relação Força produzida pelo músculo – Velocidade à qual a Força é realizada	19
Figura 18 – Vara deformada durante o salto à vara	20
Figura 19 - Curva de impulso durante o impacto.....	22
Figura 20 - Posição ideal da bola durante o remate e plano de rotação	24
Figura 21 – Esquema do movimento de remate no “ <i>slap shot</i> ”	26
Figura 22 - Michael Peca a colocar o peso do seu corpo atrás do <i>stick</i>	30
Figura 23 - Atleta de hóquei em patins a efetuar o remate	30
Figura 24 - Movimento do pé levantado aquando do remate para ajudar o atleta a manter o equilíbrio.	31
Figura 25 - Comparação dos modelos dos <i>sticks</i>	33
Figura 26 - Esquema de fixação do aléu como viga	33
Figura 27 - Momento fletor e torsor num aléu de hóquei em patins	34
Figura 28 - Secção do aléu e distribuição das tensões normais.....	35
Figura 29 - Secção retangular que aproxima a secção do <i>stique</i>	35
Figura 30 - Estado de tensão no ponto mais solicitado da seção devido às cargas de flexão e de torção correspondente ao ponto A.	36
Figura 31 - <i>Stick</i> de hóquei no gelo	39

Estudo dos Mecanismos de Transferência de Energia do Aléu para a Bola no Remate de Hóquei em Patins

Figura 32 - Sobreposição dos dois aléus. O aléu Jet Compac apresenta-se a vermelho e o aléu Jet Special Force apresenta-se a verde.	39
Figura 33 - Aceleração do disco vs. tempo de contacto	40
Figura 34 - Força (N) vs. Tempo (centésimos de segundo)	41
Figura 35 - Deformação da bola de golfe durante o impacto.	41
Figura 36 - Margem de erro com a posição do remate em relação à baliza.....	43
Figura 37 - Trajetória parabólica de bola durante um remate.	44
Figura 38 - Ângulo do aléu	44
Figura 39 - Zonas de difícil acesso e zonas fixas onde é mais difícil defender.....	45
Figura 40 - Posição da bola no meio do aléu e na ponta do aléu	47
Figura 41 - Remate com a ponta do aléu com um ângulo entre o cabo e o solo parecido com o remate normal	47
Figura 42 - Máquina de lançar pratos ajustável para o remate de hóquei em patins	49
Figura 43 - Projeto da parte de rotação do 1ª solução proposta.....	50
Figura 44 - Projeto da parte de rotação da 1ª solução proposta.....	50
Figura 45 - Segunda solução para o mecanismo.....	51
Figura 46 - Chumaceiras utilizadas no mecanismo para simular o remate	52
Figura 47 - Terceiro projeto do mecanismo.....	52
Figura 48 - Forma de ancorar a mola no cabo do aléu	53
Figura 49 - Pesos usados na experiência da calibração	58
Figura 50 - Condições de fronteira da experiência	59
Figura 51 - Aléu carregado com os quatro pesos.....	59
Figura 52 - Curva de calibração da deformação longitudinal no aléu JET Compac.	60
Figura 53 - Curva de calibração da deformação transversal no aléu JET Compac.....	60
Figura 54 - Curva de calibração da deformação longitudinal no aléu JET Special Force.	61
Figura 55 - Reta de calibração da deformação transversal no aléu JET Special Force.....	61
Figura 56 - Reta de calibração para a deformação longitudinal para o Jet Compac.....	62
Figura 57 - Reta de calibração da deformação transversal para o Jet Compac	62
Figura 58 - Reta de calibração da deformação transversal para o Jet Compac	63
Figura 59 - Reta de calibração da deformação transversal para o Jet Special Force	63
Figura 60 - Linha onde a força é aplicada durante a calibração. Neste caso o aléu é o Jet Special Force	64
Figura 61 - Alvos na experiência de Paquette.....	66
Figura 62 - Baliza com os alvos nos cantos superiores.	66
Figura 63 - Figura onde foi colocada os pontos onde os atletas acertaram.	68
Figura 64 - Mecanismo onde foi ensaiado o remate de ponta	69

Figura 65 - Remate próximo à tangente, no meio da pá e na ponta da pá no aléu JET Compac.	71
Figura 66 - Remate próximo à tangente, no meio da pá e na ponta da pá no aléu JET Special Force.	71
Figura 67 - Condições fronteira a verde e esforços aplicados a roxo. No meio do segundo punho foi dito que o deslocamento é nulo e no primeiro punho há encastramento.....	72
Figura 68 - Tensão de Von Mises no aléu Jet Special Force com a força a ser aplicada na ponta da pá	73
Figura 69 - σ_x no aléu Jet Special Force com a força a ser aplicada na ponta da pá.....	73
Figura 70 - τ_{xy} no aléu Jet Special Force com a força a ser aplicada na ponta da pá.....	74
Figura 71 - Deslocamento máximo no aléu Jet Special Force com a força a ser aplicada na ponta da pá	74
Figura 72 - Modo de vibração da 1ª frequência natural no aléu Jet Compac.....	76
Figura 73 - Modo de vibração da 2ª frequência natural no aléu Jet Compac.....	76
Figura 74 - Modo de vibração da 3ª frequência natural no aléu Jet Compac.....	77
Figura 75 - Modo de vibração da 1ª frequência natural no aléu Jet Special Force.....	77
Figura 76 - Modo de vibração da 2ª frequência natural no aléu Jet Special Force.....	78
Figura 77 - Modo de vibração da 3ª frequência natural no aléu Jet Special Force.....	78
Figura 78 - Resultados da precisão durante o remate normal.....	80
Figura 79 - Resultados da precisão durante o remate com a ponta do aléu.	80
Figura 80 - Localização do sistema de eixos a partir do qual se calculou a distância ao ponto.....	81
Figura 81 - Trajetória da bola no remate C e no remate D	84
Figura 82 - Trajetória da bola após o impacto com o aléu.....	85

Estudo dos Mecanismos de Transferência de Energia do Aléu para a Bola no Remate de Hóquei em Patins

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Propriedades dos projéteis no hóquei em patins e no hóquei no gelo	7
Tabela 2 - Velocidade máxima média para cada tipo de <i>stick</i> para cada grupo.	32
Tabela 3 - Fatores de correção para as equações 26 e 27	36
Tabela 4 – Aceleração do disco, velocidade do disco e tempo de contacto durante o <i>slap shot</i>	37
Tabela 5 - Duração do tempo de cada fase no “ <i>slap shot</i> ” dos diferentes grupos.....	38
Tabela 6 - Componente segundo a direção do remate da distância percorrida pelo <i>stick</i> e da velocidade.	38
Tabela 7 - Relação entre os valores experimentais e os valores do modelo.	57
Tabela 8 - Valor das massas utilizadas na calibração.	58
Tabela 9 - Módulo de Young para o modelo após a segunda calibração.....	64
Tabela 10 - Erros na deformação ϵl após a calibração no aléu Jet Compac.....	64
Tabela 11 - Erros na deformação ϵl após a calibração no aléu Jet Special Force.....	65
Tabela 12 - Tensões no aléu durante os vários tipos de remate.	72
Tabela 13 - Frequências naturais dos dois aléus.....	76
Tabela 14 - Análise da precisão dos dois tipos de remate.	79
Tabela 15 - Análise dos pontos representativos dos remates do atleta representado pelos pontos vermelhos.....	82
Tabela 16 - Tempo de contacto nos dois remates	83
Tabela 17 - Tempo de contacto dos três remates	83
Tabela 18 - Ângulo de saída da bola.....	84
Tabela 19 - Ângulo de rotação do aléu e deformação da mola	85
Tabela 20 - Força realizada pelas molas.....	86
Tabela 21 – Energia que o atleta transmite à bola através do movimento de <i>snap</i>	86

Estudo dos Mecanismos de Transferência de Energia do Aléu para a Bola no Remate de Hóquei em
Patins

Listagem de Símbolos e Abreviaturas

A_p - Aceleração do disco

b - Braço da alavanca

b_r - Comprimento do retângulo

CIRH- Comité International de Rink Hockey

d - Distância percorrida pela bola quando em contacto com o aléu

d_a -Distância da bola à baliza

d_b - Distância linear percorrida pelo *stick* durante as diferentes fases do remate

DP - Desvio Padrão

E - Módulo de Young

E_c - Energia Conservativa

$E_{cinética}$ - Energia Cinética

E_m - Energia Mecânica

E_{nc} - Energia não Conservativa

E_0 - Energia Aplicada Diretamente na Performance do Atleta

e - Coeficiente de Restituição

F - Força realizada

FPP - Federação de Patinagem de Portugal

g - Aceleração da gravidade

HC - Contacto entre o calcanhar da lâmina e o solo

I - Momento de Inércia

k - Rigidez

NHL - National Hockey League

m_i - Massa do corpo i

M - Massa total do sistema

Mm - Momento

M_t - Momento torsor

MEF - Método dos Elementos Finitos

L - Quantidade de Movimento Angular

LOME - Laboratório de Ótica e Mecânica Experimental

p_i - Quantidade de Movimento Linear do corpo i

P - Quantidade de Movimento Linear total do sistema

PC - Contacto entre a lâmina e o disco

Pot - Potência

r_i - Distância entre o centro de massa do corpo i e o centro de massa do sistema

R - Distância entre o centro de massa do atleta e o centro de massa da bola

S-OFF - Lâmina deixa de estar em contacto com o solo

$T_{contact}$ - Tempo de contacto entre o disco e a lâmina

TC - Contacto entre os dedos da lâmina e o solo

t - Altura do Retângulo

v - Velocidade linear

v_b - Velocidade do *stick* nas diferentes fases do remate

v_{cm} - Velocidade do centro de massa

V_p - Velocidade do disco

w - Velocidade angular

w_{th} - Largura do alvo

w_n - Frequência Natural

W - Trabalho

W_m - Energia absorvida pela mola\ Trabalho realizado pela mola

x - Deslocamento

α - Fator de Correção

β - Ângulo entre a linha de golo e a reta que une a bola ao centro da baliza

ΔT - Intervalo de Tempo

Δt_1 - Tempo desde o contacto dos “dedos” da lâmina até ao contacto do “calcanhar” desta

Δt_2 - Tempo desde o contacto dos “dedos” da lâmina até ao contacto entre a lâmina e o disco

Δt_3 - Tempo deste o contacto dos “dedos” da lâmina até ao momento em que o disco abandona a lamina

Δ_x - Largura do alvo do ponto de vista da bola aquando do remate

Δ_y - Altura do alvo do ponto de vista da bola aquando do remate

$\Delta\theta_x$ - Margem de erro horizontal

$\Delta\theta_y$ - Margem de erro vertical

ε_l - Deformação longitudinal

ε_t - Deformação transversal

τ - Tensões de Corte

σ - Tensões Normais

1. Introdução

1.1 Motivação

No hóquei em patins, e embora seja esta uma modalidade com mais de 50 anos de existência, só agora começam a aparecer os primeiros documentos escritos que pretendem desvendar as particularidades que a compõem. Urge a necessidade de colmatar a pouca informação existente sobre a modalidade, para que as pessoas que nela andam envolvidas abandonem as formas empíricas e enveredem pela resolução científica de determinados aspetos que estão inerentes ao hóquei em patins.[1]

Ao longo dos anos houve pouco investimento no conhecimento científico à volta do hóquei em patins, sendo a maior parte do conhecimento do tipo empírico.

Quando olhamos para outros desportos notamos o estudo científico extenso realizado nestes e as melhorias que daí obtiveram. Futebol, ténis, ciclismo e hóquei no gelo são só alguns exemplos dos desportos que sofreram melhorias significativas através do estudo científico. Basta olharmos para a evolução das bolas de futebol nos últimos anos para perceber como os estudos realizados à volta desta ajudou o seu desenvolvimento, melhorando assim a performance desta.

Como atleta da modalidade interessei-me por estudar a física presente num remate, de forma a perceber as suas particularidades e de poder ajudar ao seu desenvolvimento e/ou ajudar num estudo que tem como finalidade melhorar o aléu para o remate.

Segundo um autor de um documento de hóquei em patins, sobre a escolha do aléu para cada atleta, este diz:

“O que também queremos salientar é que o empirismo latente no hóquei em patins manifesta-se de duas formas (o atleta):

- Não consegue transmitir a melhor técnica para otimizar a utilização dos aléus existentes;
- Não consegue encontrar o aléu ideal, utilizando novos materiais, como o já fizeram outras modalidades praticadas com instrumentos.”[2]

É esta ideia, do que as possíveis evoluções técnicas no hóquei em patins têm que partir do empirismo, que se tem de combater. Com os meios presentes na atualidade é possível, através do estudo científico da modalidade, ajudar a aprimorar quer aspetos técnicos dos atletas, quer os instrumentos usados por estes.

Devido à falta de investimento nesta modalidade, o estudo científico tem sido feito por pessoas ligadas à modalidade: ou porque a praticam ou porque a apreciam.

O hóquei em patins é um desporto que anda lado a lado com a história de Portugal. Por exemplo no brasão da cidade de Vila Real é possível encontrar o aléu, mais conhecido no hóquei por aléu. Conta a lenda que no reinado de D.João I (ou de D. Dinis), em Vila Real, um grupo de rapazes estaria a jogar o jogo da choca (uma espécie de hóquei, mas sem patins e cuja bola é uma pedra, diz-se na mesma lenda), com um pau a que davam o nome de "aléu". O rei terá criticado a sua despreocupação, num momento de perigo, em que estavam a entrar em guerra. Um dos rapazes teria respondido que com o mesmo aleu com que jogavam a choca

tratariam dos inimigos. Satisfeito com a resposta, o rei mandou que a palavra aléu fosse inscrita no brasão da cidade.[3] Na Figura 1 mostra-se o brasão da cidade de Vila Real.



Figura 1 - Brasão da cidade de Vila Real[3]

Sendo um desporto com vários praticantes em Portugal (atualmente existem 75 equipas nas 3 principais divisões a nível nacional), motiva-me o estudo desta modalidade pela paixão que lhe tenho e pelo desinteresse crescente que se vai verificando à volta desta. Com este trabalho espero contribuir para uma maior compreensão da modalidade e para um maior interesse nesta.

1.2 Objetivos

Esta tese tem como principais objetivos:

- Compreender o remate no Hóquei em Patins;
- Estudar a influência do tempo de contacto no remate;
- Estudar se o remate na ponta do aléu aumenta o tempo de contacto entre a bola e o aléu;
- Estudar a precisão deste tipo de remate.

1.3 Hipóteses

- O remate com a ponta do aléu tem tempos de contacto maiores;
- O remate com a ponta do aléu é de difícil execução;
- O remate com a ponta do aléu é menos preciso.

2. Estado de Arte

2.1 O Estudo do Hóquei em Patins

Como foi dito atrás o hóquei em patins nada ou pouco foi estudado cientificamente. Do ponto de vista da Engenharia existe pouca informação sobre este desporto.

Enquanto em Portugal pouca coisa foi feita, noutros países começou-se pela realização de estudos acerca da patinagem. A patinagem resulta do movimento das rodas dos patins, conseguido pelo patinador por ação de diversos vetores de força que a sua movimentação envolve. O patinador serve-se destes vetores, ajustando-os para se equilibrar. A patinagem é assim a ciência e arte do equilíbrio dinâmico. [2]

Foram realizados alguns estudos biomecânicos para melhorar a patinagem dos atletas de hóquei em patins de forma a torna-los mais rápidos, uma vez que a sua velocidade de patinagem é um aspeto muito importante. O hóquei em patins é um desporto muito rápido, jogado a um ritmo intenso, onde arranques mais eficientes e maiores velocidades de ponta são fundamentais. [4]

Na técnica individual existem certos requisitos que um atleta tem que possuir de maneira a poder praticar a modalidade da melhor forma. Este conjunto de requisitos constitui a sua capacidade técnica, sendo estes:[5]

- Patinagem;
- Domínio da Bola;
- Controlo de Passes;
- “*Sticada*” ou Remate;
- Finta.

A patinagem constitui a base fundamental da prática do hóquei em patins, o bom atleta é aquele que percorre o recinto em oito rodas sem se preocupar com esse facto.

O domínio da bola significa o controlo da bola por meio do aléu, em todas as circunstâncias: junto ao chão; a saltitar; a meia altura; com duas ou uma mão; de frente ou de costas.

O princípio dos passes, ou do seu treino, é que devem ser sempre feitos junto ao chão. Em todos os casos aconselha-se a bater na bola com personalidade, com uma pancada seca, bastante forte, como se estivesse a atirar à baliza.

Tal como o tiro de espingarda, o remate é o fator mais importante e decisivo na consecução dos objetivos de um grupo. Golos que darão a vitória estão dependentes de um bom remate.

A finta é uma arma poderosa, desde que utilizada nos momentos oportunos e com moderação. Os atletas não nascem dotados com esta capacidade que, tal como todas as outras, só se adquire como resultado de muito trabalho. A arte de fintar é uma combinação de movimentos do corpo, aléu e bola, tendentes a dissimular as verdadeiras intenções do executante.[5]

Este estudo apenas irá se focar no remate.

2.2 Desportos de Impacto

Os desportos de impacto envolvem sempre interação entre equipamentos rígidos como o aléu ou o taco de golf e bolas viscoelásticas, sólidas ou ocas. Entre estes desportos encontram-se[6]:

- Ténis;
- Cricket;
- Squash;
- Hóquei;
- Golf.

O desenvolvimento da compreensão destas iterações é uma área ativa de pesquisa, sempre direcionada para a otimização do equipamento desportivo com respeito pelo atleta, para ajudar na criação deste equipamento e no treino desportivo.

O remate é um aspeto fundamental do jogo, pois é a partir deste que se criam mais oportunidades de golo. Sendo o remate basicamente o contacto entre o aléu e o projétil existem os seguintes desportos que se poderiam considerar parecidos com o hóquei em patins:

- Hóquei no gelo;
- Golf;
- Hóquei em campo.

É pois interessante analisar os estudos já realizados nestes desportos de forma a estudar o remate no hóquei em patins.

O golf não é o desporto mais indicado para comparar com o hóquei em patins, pois neste, dependendo da distância pretendida, varia-se o taco e o punho, algo que não acontece no hóquei em patins. De referir que o movimento de *swing* no golf é feito para que a velocidade máxima do taco de golfe seja conseguida no ponto onde este bate a bola. Isto é algo que não acontece quando a precisão é um fator importante e para tal é necessária a contração de alguns músculos, diminuindo assim a aceleração[7].

O hóquei em campo também não é interessante para comparação pois, dependendo da posição de cada atleta, o *stick* é diferente. Como neste momento estamos à procura de perceber o aléu de forma mais generalizada não interessa a abordagem por este desporto[8].

O hóquei no gelo é pois o desporto mais indicado para se comparar com o hóquei em patins, devido às semelhanças presentes entre os dois, principalmente a nível do remate. Logicamente há diferenças entre os dois, no entanto, é um desporto largamente estudado e que pode ser tido em conta no estudo do hóquei em patins.

Ao contrário do hóquei em patins, o hóquei no gelo gera muito dinheiro, levando assim a que vários estudos se realizem à volta deste desporto incluindo teses de mestrado sobre vários aspetos deste desporto. As seleções mais fortes no hóquei no gelo em séniores masculinos, denominadas “*Big Six*” são[9].

- Canadá;
- República Checa;
- Finlândia;

- Rússia;
- Suécia;
- Estados Unidos da América.

No caso do hóquei em patins, as seleções com mais campeonatos mundiais vencidos são[10]:

- Portugal (15 vitórias);
- Espanha (15 vitórias);
- Itália (4 vitórias);
- Argentina (4 vitórias).

Pela análise das potências mundiais em cada desporto podemos ver a diferença entre ambos. Enquanto no hóquei no gelo, a maior parte dos países possuem uma grande capacidade económica, levando a que o dinheiro envolvido neste desporto seja avultado, no hóquei em patins, os principais países são Portugal e Espanha, que não são potências económicas mundiais, antes pelo contrário, estes dois países estão a passar por dificuldades económico financeiras atualmente.

2.3 Comparação entre Hóquei em Patins e Hóquei no Gelo

Para comparar de forma eficaz estes dois desportos deve-se de começar por ter em atenção as suas diferenças.

Uma diferença evidente encontra-se no piso. Enquanto no hóquei no gelo o ringue é sempre em gelo e com características bem definidas, no hóquei em patins encontramos diversos ringues com materiais como madeira, plástico, cimento ou mesmo mosaico. O ringue no hóquei no gelo permite que no remate de *slap shot* no hóquei no gelo os atletas pressionem o *stick* contra o ringue de forma a acumular energia potencial elástica no cabo para depois ser libertada. Este artifício não pode ser usado no hóquei em patins devido à não uniformidade dos diferentes tipos de ringues bem como a existência de interfaces, por exemplo entre os tacos que constituem os pisos dos ringues, que poderia levar à perda do controlo do aléu.

Outra diferença facilmente detetada são os patins. Enquanto no hóquei no gelo são usadas lâminas na parte inferior da bota para que o atleta patine no gelo, no hóquei em patins são usados patins de quatro rodas dispostas duas a duas paralelamente.

Outra diferença encontra-se no projétil e no *stick* / aléu. Como o estudo desta tese é o remate, é importante perceber em pormenor estes dois elementos do jogo.

2.4 O Projétil

No hóquei em patins o projétil é a bola, que é um elemento essencial neste desporto. Embora não seja o elemento de estudo é necessário compreendê-la para estudar o fenómeno do impacto.

Analisando as normas da bola de hóquei em patins, a bola deve de ter um peso de 155 (cento e cinquenta e cinco) gramas e ser perfeitamente esférica, com um perímetro de 23 (vinte e três) centímetros. De referir também que, quando o árbitro tem que optar entre duas bolas, escolhe sempre pela menos elástica. Este teste é feito deixando cair as duas bolas ao chão à mesma altura e verificar qual das duas salta menos.[11] O árbitro está assim a analisar o coeficiente de restituição da bola, que será melhor analisado mais a frente neste trabalho.

Existem três tipos de bolas, sendo que normalmente são feitas em poliuretano (PU) ou em polivinil clorato (PVC) [12]:

- a) Bolas com centro oco;
- b) Bolas com o centro em cortiça laminada;
- c) Bolas com o centro em lã e cortiça laminada com núcleo polimérico.

Na Figura 2 mostra-se uma imagem dos três tipos de bolas.

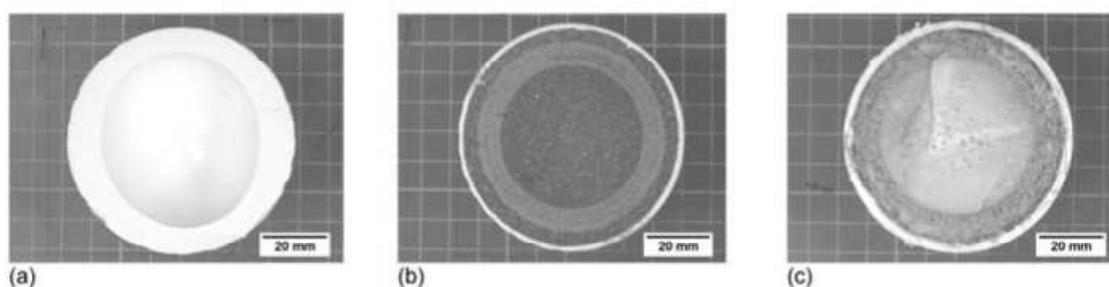


Figura 2 - Imagem dos três tipos de bolas[12]

A bola oca tem uma cobertura mais dura que as outras de modo a dar a rigidez suficiente à bola. As bolas preenchidas apresentam uma cobertura mais fina e menos dura que a bola oca, que por sua vez contacta com um núcleo exterior de cortiça mais suave que contacta com um núcleo interior mais duro. Esta estrutura em camadas tende a concentrar as tensões no núcleo exterior que tem dureza e dimensões semelhantes nestas duas bolas. O núcleo interno da segunda bola é mais suave, devido provavelmente ao elastómero incorporado na cortiça.

No geral, a bola oca é menos rígida que as outras duas, que têm rigidez semelhante. Esta bola também apresenta um menor aumento da rigidez com o aumento da deformação aquando do remate[12].

Como grande parte da investigação é feita no hóquei no gelo é importante compararmos a bola de hóquei em patins e o disco de hóquei no gelo para vermos as diferenças entre estes e assim perceber se o fenómeno de impacto é afetado por algumas destas diferenças [11], [12], [13]. As propriedades dos dois projéteis encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades dos projéteis no hóquei em patins e no hóquei no gelo

	Bola de Hóquei em Patins	Disco de Hóquei no Gelo
Material	Borracha Vulcanizada	Borracha Vulcanizada
Massa (gramas)	155	170
Dimensões	Diâmetro: 7,2 cm	Diâmetro: 7,6 cm Espessura: 2,5 cm
Tipo de contacto com o aléu	Pontual	Linear

Podemos ver que o material dos dois projeteis é semelhante. Embora a forma destes seja diferente, o fenómeno de impacto é semelhante nos dois desportos, quando falamos do material do projétil.

2.4.1 Coeficiente de Restituição

Uma das características fundamentais da bola durante o impacto é o seu coeficiente de restituição. Quando atirada contra uma superfície dura como o piso de hóquei, a bola tende a ressaltar até uma altura correspondente a uma percentagem da altura inicial. Esta percentagem denomina-se de coeficiente de restituição[13].

Entende-se por coeficiente de restituição

$$e = \frac{v_f}{v_i} = \sqrt{\frac{h}{H}}$$

1

Sendo v_f a velocidade da bola após o impacto e v_i a velocidade da bola antes do impacto. No caso de o impacto acontecer com o solo, h é a altura que a bola atinge após o impacto com o solo e H é a altura da bola no momento anterior a esse impacto.

No hóquei espera-se que o coeficiente de restituição da bola seja o menor possível para promover um maior controlo sobre esta, quer no passe, quer no drible. Uma bola com um coeficiente de restituição alto permite no entanto remates mais velozes mas, sempre que a bola colida com a tabela ou com um dos postes da baliza, seria disparada a uma velocidade elevada, podendo tornar-se num projétil que colocaria os praticantes desta modalidade num maior perigo. Por essa razão, sempre que um árbitro escolhe uma bola, escolhe a que apresenta um coeficiente de restituição menor.

2.5 Stick / Aléu

Outro componente fundamental no remate é o aléu de hóquei em patins.

“Sendo uma arte o manejo, o aléu será para o praticante de hóquei em patins, o que o pincel é para o pintor.” [2]

Este normalmente é feito em madeira de freixo, podendo também ser feito em qualquer outro tipo de madeira, plástico ou outro material que seja previamente aprovado pelo CIRH. [4]

Além do material, o aléu de hóquei em patins tem que respeitar as seguintes normas geométricas do CIRH. [11]

- Comprimento máximo do aléu - 115 cm
- Comprimento mínimo do aléu - 90 cm

Além disso, e segundo as mesmas normas, “todos os aléus devem poder passar por um anel de 5 (cinco) centímetros de diâmetro”[11]

Na Figura 3 mostra-se um exemplo de aléu de hóquei em patins normalizado.



Figura 3 – Exemplo de um aléu de Hóquei em Patins normalizado[11]

Tal como no projétil, neste trabalho também se procede à comparação entre o *stick* de hóquei no gelo e o aléu de hóquei em patins. Para começar, apresenta-se o *stick* de hóquei no gelo normalizado pela NHL.[14]

- Comprimento máximo – 63’’=1600 mm;
- Comprimento máximo da pá – 12,5’’=318 mm;
- Altura máxima da pá – 3’’= 76 mm;
- Altura mínima da pá – 2’’=51 mm;
- Flecha máxima da curvatura – 0,75’’=19 mm.

Na Figura 4 apresenta-se um esquema de um *stick* de hóquei no gelo normalizado.

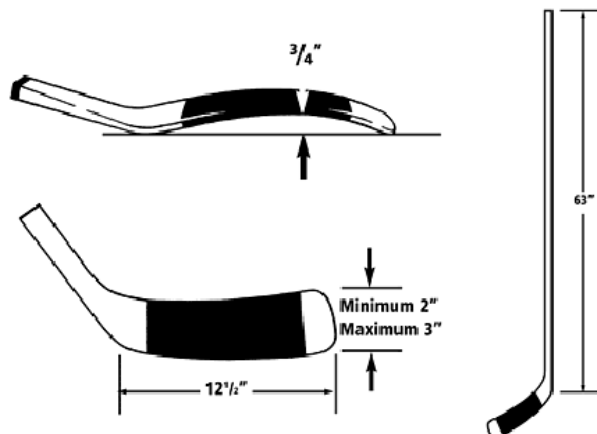


Figura 4 – Esquema de um *stick* de hóquei no gelo normalizado[14]

Além das diferenças geométricas facilmente notadas, através de trabalhos anteriores também se sabe que[4], [15]:

- O *stick* de hóquei no gelo é mais pesado que o aléu de hóquei em patins;
- A posição do centro de massa é mais afastada da ponta do cabo no *stick* de hóquei no gelo que do aléu de hóquei em patins;
- O *stick* de hóquei no gelo é mais rígido;
- O momento de inércia do *stick* de hóquei no gelo é muito superior em comparação com o momento de inércia do aléu de hóquei em patins.

2.5.1 O Manejo do Aléu

O manejo do aléu é uma técnica assimétrica, onde cada um dos membros superiores desempenha funções distintas:

- O membro superior desempenha a função de pega;
- O membro inferior produz o batimento.

O aléu pode ser manobrado por apenas um dos membros, sendo que assim o batimento perde precisão e força, [2] sendo no entanto vantajosa o domínio desta técnica devido à sua utilidade em alguns momentos do jogo. Manobrando o aléu com uma mão, este tem toda a gama de graus de liberdade que as articulações do membro da pega lhe permitem.

Na Figura 5 mostra-se a pega de um atleta durante um remate da forma reversa.



Figura 5 - Exemplo de pega no hóquei em patins. Mão de cima é a mão de pega e a mão de baixo é a mão de batimento[16]

Os vários tipos de manejo da bola com o aléu são executados com base intencional durante o jogo. O tipo e a forma de contacto irão caracterizar o movimento da bola nos diversos tipos de interação entre esta e o aléu. Os principais procedimentos são[2]:

- Controlo ou domínio da bola;
- Passe e receção;
- Remate.

É então necessário que o tipo e a forma de contacto sejam os mais ajustados aos diferentes procedimentos acima descritos. Entende-se por tipo de contacto o modo angular com que o aléu contacta com a bola. A forma de contacto é a forma do procedimento para contactar a bola.

Segundo Honório são três os tipos de contacto:[2]

- Repulsivo;
- Recetor;
- Neutro.

Na Figura 6 apresentam-se os três tipos de contacto.

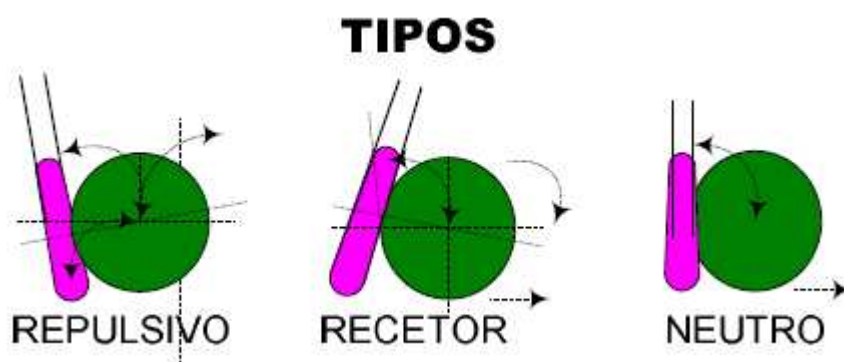


Figura 6 - Tipos de contacto entre o aléu e a bola[2]

Segundo o mesmo autor existem três tipos de remate considerando o contacto na bola:

- Forma arrastada;
- Forma colada;
- Forma batida.

Na Figura 7 apresenta-se os três tipos de remate, segundo Honório[2]. De salientar o aspeto empírico do documento em questão pela presença de vetores arqueados, algo que na Física não existe. O autor por vetor queria mostrar o deslocamento do stique.

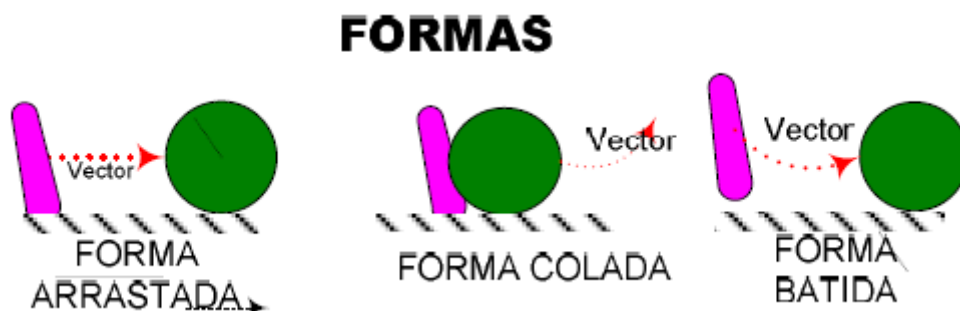


Figura 7 – Tipos de remate considerando o contacto entre o aléu e a bola[2]

Depois de analisar os tipos e as formas de contacto, podemos analisar os diferentes remates no hóquei em patins.

2.6 Remate

Entende-se por remate a ação de finalização e/ou arremesso da bola à baliza adversária.

O remate assume as seguintes designações relativamente à distância à baliza: [17]

- Curtos;
- Médios;
- Longos.

Os primeiros são executados desde junto à baliza até 3 a 4 metros desta, também chamados remates de finalização (Zona 1 da Figura 8).

Os segundos são executados entre os 3 /4 metros e os 10,4 metros (antiga zona da marcação dos livres diretos), também chamados de remates de meia distância (Zona 2 da Figura 8).

Os últimos são executados para além dos 10,40 metros. Também são chamados de remates de longa distância (Zona 3 da Figura 8).

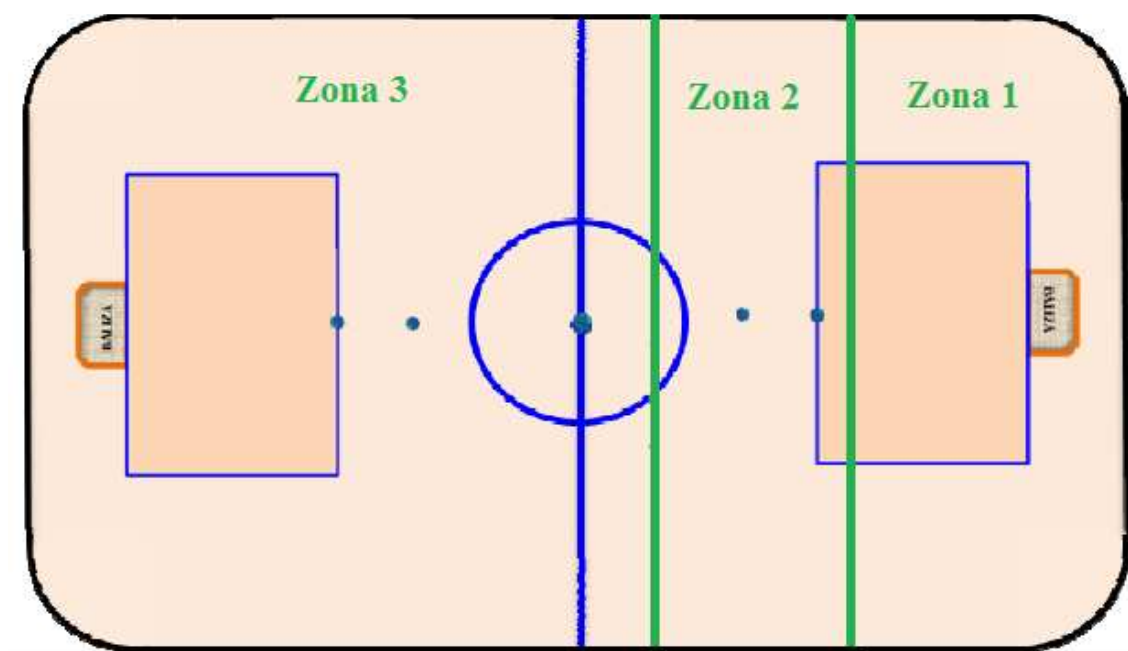


Figura 8 - Zonas dos diferentes remates

Relativamente à altura a que a bola atinge a baliza pode-se designar o remate como:[17]

- Remate rasteiro ou raso;
- Remate a meia altura;
- Remate alto.

Por fim pode considerar-se 6 tipos de remates que estão representados desde a Figura 9 à Figura 14:[17]

Remate Colado

Este remate executa-se de forma colada, utilizando apenas os membros superiores. Este remate é utilizado preferencialmente para curtas distâncias. A posição da bola deverá estar na linha dos pés e ligeiramente à frente do pé de apoio



Figura 9 - Remate Colado. Neste caso efetuado da forma reversa[18]

Remate Enrolado

Este remate é executado de forma colada, conjugando a rotação dos membros superiores com a rotação do tronco, para uma maior amplitude de movimento. A sua utilização mais usual é a meia e longa distância. Para este remate a posição da bola deve de estar atrás do pé de apoio. Assume a definição de enrolado para o diferenciar do colado porque na sua execução, em sentido figurado, o aléu tende a enrolar a bola. Este remate pode ser comparado com o *wrist shot* do hóquei no gelo.



Figura 10 - Remate Enrolado[18]

Remate Arrastado

Este remate é executado de forma arrastada, utilizando os membros superiores e o tronco. É usualmente realizado a curta e média distância. A bola deve de estar na linha dos pés e ligeiramente à frente do pé de apoio, dependendo do ângulo que o aléu forma com o solo.



Figura 11 - Remate Arrastado[18]

Remate Batido

Executado de forma batida, utilizando o tronco e os membros superiores, pode ser utilizado em todas as distâncias. A posição da bola deve de ser na linha dos pés e ligeiramente à frente do pé de apoio, dependendo do ângulo que o aléu forma com o solo. Este remate pode ser comparado com o *slap shot* do hóquei no gelo.



Figura 12 - Remate Batido[18]

Remate Pranchado

Este remate é igual ao remate batido. No entanto, enquanto o remate batido é executado da forma natural do atleta, o remate pranchado é executado da forma reversa. Tal como no remate batido deve-se colocar a bola na linha dos pés e ligeiramente à frente do pé de apoio, dependendo do angulo que o aléu forma com o solo.



Figura 13 - Remate Pranchado[18]

Toque de desvio

O remate, sob o ponto restrito de ação de finalização, pode assumir várias formas de execução, não consideradas como arremesso. Situam-se neste plano os toques de desvio como ações finalizadoras, contemplando múltiplas formas de execução.



Figura 14 - Toque de Desvio [18]

3. Estudo do Remate no Hóquei em Patins

Um remate deve de ser executado:

- De forma a transmitir grande velocidade á bola;
- De forma a ser preciso;
- No menor espaço possível;
- Da forma mais rápida possível.

O terceiro ponto e o quarto ponto são importantes para que o adversário não intersecte o remate e para apanhar o guarda-redes de surpresa, de forma a aumentar a probabilidade do golo, no entanto apenas a velocidade e a precisão vão ser tratadas neste trabalho.

3.1 Velocidade do Remate

3.1.1 Trocas Energéticas no Desporto.

Durante o impacto existe a transferência de energia do aléu para a bola.

Podemos definir energia como sendo a capacidade de realizar trabalho. No desporto quanto maior for o trabalho que se consegue realizar, mais longe se consegue lançar o peso, mais rápido se consegue patinar ou mais alto se consegue saltar.

Shenau e Cavanagh (1990) afirmaram que a Energia Mecânica produzida pelos músculos para o movimento humano (E_m) pode se dividida em três caminhos (Figura 15) [19]:

- Energia conservativa (E_c) onde esta será acumulada numa peça de equipamento e reutilizada pelo atleta;
- Energia não conservativa (E_{nc}) onde a energia é dissipada como calor, som, vibrações, etc.
- Energia aplicada diretamente na performance do atleta (E_0).

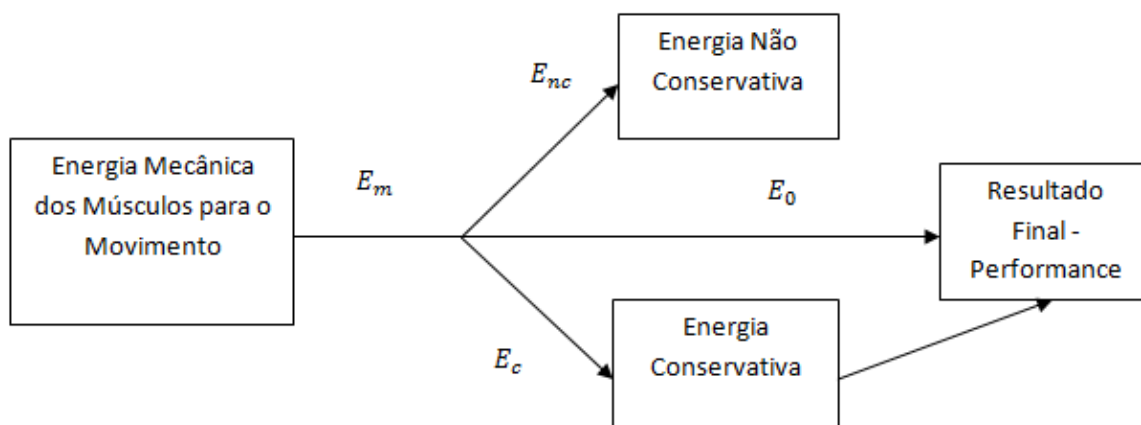


Figura 15 - Caminhos da energia mecânica dos músculos para a performance desportiva (adaptado de[19])

Formas de otimizar a performance do atleta do ponto de vista energético

Para maximizar a performance do atleta é necessário maximizar a energia de saída (E_0). Quando considerando os equipamentos desportivos isto pode ser atingido através de três princípios principais[20]:

- Aumentar a energia mecânica produzida pelos músculos, otimizando as características do sistema musculoesquelético;
- Maximizar a energia conservativa que é reservada por uma peça de equipamento;
- Utilizar equipamento que minimize a energia não conservativa que é dissipada.

Otimizar o sistema musculoesquelético

Otimizar o *output* muscular depende de vários fatores. Quanto mais forte for o músculo, maior a força que ele consegue produzir e, por consequência, maior o trabalho que consegue realizar. Então, músculos mais fortes deveriam resultar numa melhor performance do atleta. Sendo que a força muscular é uma característica do atleta não é influenciada por uma peça particular de equipamento que o atleta esteja a usar. No entanto, o equipamento pode influenciar a produção de força dinâmica pelos músculos manipulando as características intrínsecas do sistema musculoesquelético das relações força-comprimento e força-velocidade. Em termos simples, uma peça de equipamento pode ter uma larga influencia na técnica que o atleta está a usar, que pode ter uma influência substancial no desempenho deste.

A força que um músculo pode produzir é severamente reduzida a comprimentos muito reduzidos e a comprimentos muito longos. Existe uma distância ótima à qual a máxima quantidade de força pode ser produzida, como se pode ver na Figura 16, que mostra a relação entre a força que um músculo produz e o comprimento. Portanto, para otimizar este sistema, o equipamento desportivo pode ser manipulado para ajustar as distâncias dos diferentes músculos e maximizar a força produzida.

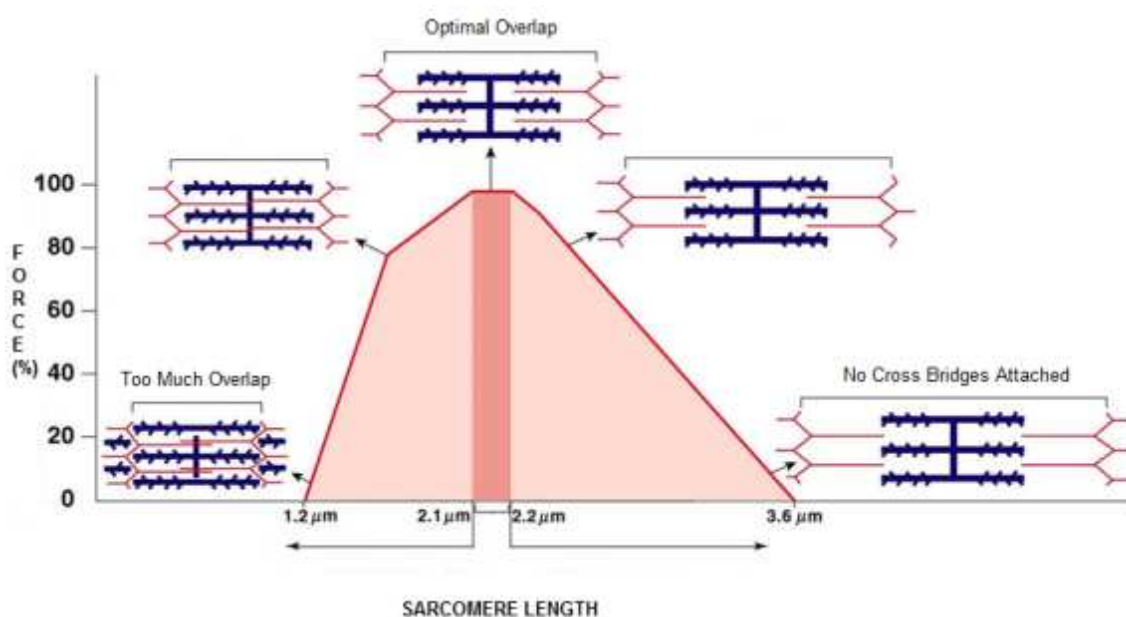


Figura 16 - Relação Força produzida pelo músculo - Comprimento de uma célula muscular quando executada a Força[21]

Outra característica intrínseca do músculo consiste na intensidade da força que este consegue produzir a uma determinada velocidade de contração. A velocidades muito baixas, a quantidade de potência produzida pelo músculo é muito reduzida como se pode confirmar na Figura 17.

Muitos desportos são classificados como desportos de potência onde o trabalho (W) deve de ser realizado muito rapidamente. Sendo a potência:

$$Pot = \frac{W}{\Delta T}$$

2

Esta é muito importante na performance de um atleta. Como também sabemos que: [4],

$$Pot = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

3

obtemos que a relação entre força-velocidade mostra que existe uma velocidade ótima à qual a potência é máxima (Figura 17). Com esta informação os equipamentos desportivos podem ser desenhados para manipular a velocidade da contração dos diferentes músculos para maximizar a potência [20].

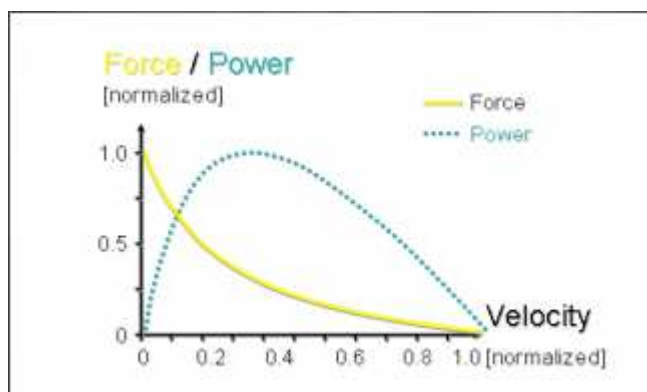


Figura 17 - Relação Força produzida pelo músculo – Velocidade à qual a Força é realizada[21]

Maximização do armazenamento e libertação da energia conservativa.

Armazenar energia em equipamentos desportivos para a depois libertar é possível através da manipulação apropriada das forças conservativas. Para ilustrar esta vantagem temos o exemplo de uma força aplicada numa mola linear perfeitamente elástica. Quando a mola é deformada, o trabalho necessário para a deformar é armazenado nesta sobre a forma de energia potencial elástica. Quando a mola é libertada o trabalho realizado por esta é em magnitude igual ao necessário para a deformar. Neste caso, as forças são consideradas conservativas. Esta habilidade consegue transformar as forças conservativas extremamente uteis, como no caso do *stick* de hóquei no gelo no remate em *slap shot*.

A grande vantagem da energia potencial elástica, e que pode ser armazenada durante um longo período de tempo, sendo posteriormente libertada num curto período de tempo, produzindo assim potências elevadas. Este aspeto é em algumas situações muito vantajoso.

Embora o mecanismo exato pelo qual o atleta beneficia do armazenamento e libertação deste tipo de energia nos equipamentos desportivos varie de desporto para desporto, existem estratégias básicas que ajudam a melhorar a performance que podem ser aplicadas em qualquer situação onde a energia é armazenada e posteriormente libertada. Estas estratégias são[20]:

- Maximização da quantidade de energia armazenada no equipamento;
- Minimização da quantidade da energia perdida;
- Libertar a energia no momento certo;
- Libertar a energia à frequência certa;
- Libertar a energia na localização certa.

Armazenamento de energia

Qualquer equipamento desportivo com características elásticas tem a capacidade de armazenar e libertar energia. A energia é armazenada no equipamento quando este se deforma e é libertada quando este volta à sua posição inicial. Um exemplo é o comportamento da vara durante o salto à vara. Quando o atleta encaixa a vara no batente, esta começa a deformar-se, acumulando energia potencial elástica. Posteriormente a energia é libertada, permitindo ao atleta ascender até à altura desejada. Na Figura 18 pode-se ver a vara completamente deformada.



Figura 18 – Vara deformada durante o salto à vara

A quantidade de energia armazenada é função da rigidez do equipamento e da deformação que este sofre, como mostrado na equação seguinte: [20]

$$W_m = -\frac{1}{2}kx^2$$

4

Pela análise da equação anterior podemos ver que a energia armazenada varia linearmente com a rigidez e quadraticamente com o deslocamento (assumindo que as propriedades elásticas do equipamento são representadas como uma mola linear). Assim sendo, para uma determinada força, uma peça de equipamento mais flexível armazena mais energia que uma peça mais rígida.

Pela análise anterior, de forma a maximizar a energia armazenada, o atleta deve possuir equipamento compatível com a sua capacidade de força e deslocamento.

Tendo como exemplo o tiro com arco e ignorando a rigidez do arco, um atleta só consegue puxar a corda do arco até onde lhe é possível anatomicamente devido ao comprimento dos seus braços. Então, baseado na força do indivíduo, o arco deve de ser o mais rígido possível enquanto o atleta o consegue deformar até ao ponto máximo. Aumentando a rigidez do arco além deste ponto resulta numa menor deformação do arco. Embora a rigidez aumente, a deformação diminui e, analisando a equação 4 podemos ver que a energia armazenada é menor.

Energia devolvida

Os equipamentos desportivos com o propósito de reservar a máxima quantidade de energia potencial não são suficientes para aumentar a performance. Mesmo que uma grande quantidade de energia seja armazenada durante o ciclo de carregamento, ela é inútil se não for libertada propriamente durante o ciclo de descarga. Embora os detalhes exatos de como o ciclo de descarga deve realizar-se variem de desporto para desporto, no geral, a energia deve de ser devolvida [13]:

- Sem dissipações severas de energia;
- No momento certo;
- Na frequência certa;
- No local certo.

Como foi dito atrás, equipamentos desportivos apropriados conseguem armazenar e libertar energia devido às suas propriedades elásticas. Estes elementos elásticos não são no entanto perfeitamente elásticos, sendo no geral viscoelásticos. Eles perdem por isso alguma energia que é absorvida ou dissipada pelo material durante o ciclo de descarga, como se pode ver na equação seguinte.[20]

$$\text{Energia Devolvida} = \text{Energia Armazenada} - \text{Energia Perdida}$$

5

Esta perda de energia conservativa é denominada de histerese.

O impacto da histerese é que não importa a quantidade de trabalho que o atleta faz armazenando energia num equipamento, a quantidade que vai ser devolvida pelo equipamento será sempre menor. A quantidade da histerese vai depender das propriedades do material no qual o equipamento é construído. Novos materiais compósitos como por exemplo fibra de carbono podem ser produzidos de forma a ter uma histerese reduzida.

Com o exemplo de um taco de golfe, a deformação imposta no cabo leva a que exista energia potencial elástica armazenada no cabo. Quando libertada, esta energia será maioritariamente transformada em energia cinética na cabeça do taco, à medida que este se endireita. A cabeça do taco tem a sua energia cinética máxima quando o cabo se encontra na sua forma original, perfeitamente direito. A energia cinética máxima apenas ocorre por um breve momento, pois seguidamente a energia cinética é novamente convertida em energia potencial à medida que a cabeça do taco continua o seu movimento para a frente e o cabo se deforma.[20]

Alguns parâmetros podem ser otimizados, como por exemplo a rigidez do cabo, para que o momento em que se dá o impacto entre o taco e a bola seja precisamente o mesmo em que o taco se encontra perfeitamente direito, de forma a aumentar a energia cinética do taco.[22]

Durante o ciclo de descarga o equipamento desportivo realiza trabalho, pois este está a aplicar uma força durante uma certa distância. Esta força combinada com o tempo sobre o qual o ciclo de descarga ocorre forma a curva de impulso como mostrado na Figura 19.

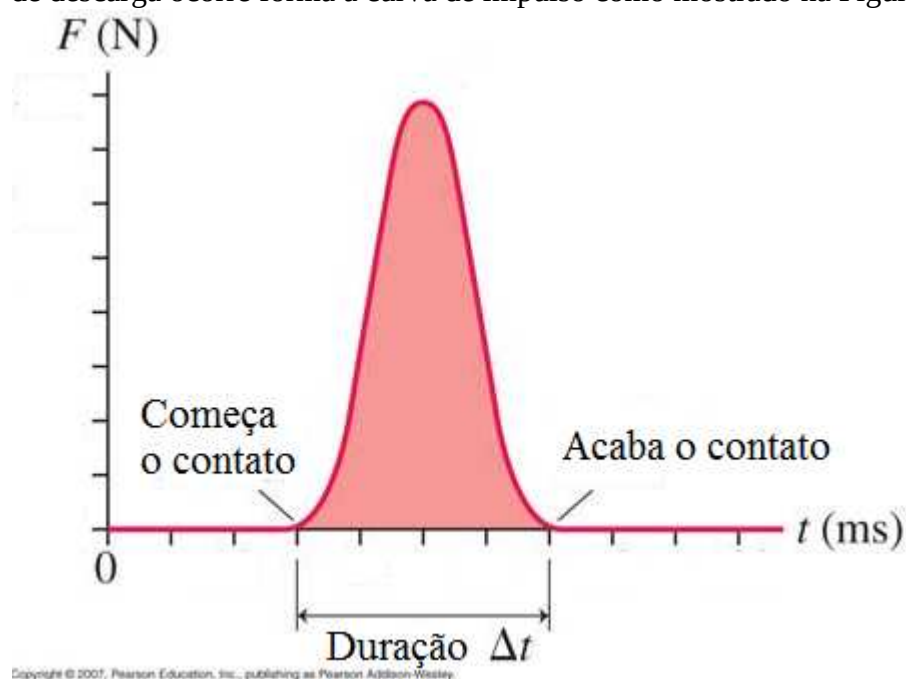


Figura 19 - Curva de impulso durante o impacto [Adaptado de [23]]

Esta curva pode ser vista como uma porção de uma onda sinusoidal, sendo assim possível calcular a frequência do impulso. Para que a energia devolvida pelos equipamentos desportivos seja efetiva, a frequência a que esta energia é devolvida deve coincidir com a frequência do evento para o qual a energia contribui [20].

Minimização das perdas energéticas por energia não conservativa

Nem todo o trabalho realizado pelo atleta durante um movimento desportivo é inteiramente direcionado para o seu objetivo. Alguma energia é usada em trabalho que não tem interesse para a “*performance*”. Alguns exemplos são energia perdida como som, calor, energia para vencer a fricção do solo ou a resistência do ar, trabalho feito para estabilização e trabalho feito para amortização de vibrações como por exemplo a do aléu. Focando o caso do hóquei em patins temos a acrescentar os exemplos da fricção presente nas mãos do atleta e a deformação da bola. Embora estes fenómenos requeiram energia do atleta, nenhum destes aumenta diretamente a *performance* deste. Deste ponto de vista estas são consideradas como sendo fontes de perdas energéticas através de energia não conservativa. Visto que estas energias poderiam ser usadas para aumentar a *performance* do atleta, minimizar estas perdas pode ter um efeito profundo. Desenhar material desportivo com esta função em mente pode ser muito útil para o atleta.[20], [24]

Um dos exemplos acima mencionados foi as perdas energéticas devido à fricção ou à resistência do ar. As forças de arrasto são forças dissipativas que atuam em oposição ao movimento de qualquer objeto que se move num meio viscoso. Sendo que estas forças são resistivas, por definição o trabalho que estas realizam diminui a energia cinética do atleta. Sendo assim, em desportos em que os atletas se movem a altas velocidades, estas forças não-conservativas diminuem a *performance* do atleta, sendo por isso necessário reduzir o valor destas forças, função que o equipamento desportivo pode fazer.[20] Por exemplo, através de testes num túnel de vento, foi possível modificar capacetes e fatos tornando-os em peças mais aerodinâmicas, e demonstraram diminuições de 16% na quantidade das forças de arrasto em esquiadores [25].

Uma das funções do sistema musculoesquelético humano é a estabilização das articulações. Para isso os grupos de músculos agonistas e antagonistas contraem-se para aumentar a rigidez das articulações. Este aspeto é desejável em cenários onde movimentos indesejáveis das articulações podem diminuir a *performance* ou criar lesões e desta forma esses movimentos indesejáveis são impedidos usando os músculos para estabilizar as articulações. No entanto, usar os músculos desta forma requer energia que o atleta já não poderá utilizar na sua *performance*. Assim sendo, o equipamento desportivo utilizado com a finalidade de aumentar a estabilização das articulações servem para também minimizar as perdas energéticas [20].

Um exemplo onde o equipamento desportivo ajuda na fixação das articulações são os patins do hóquei no gelo. A estabilização dos tornozelos é de particular interesse quando se está a usar patins. O braço da lâmina dos patins aumenta o momento que o tornozelo sofre através das forças de reação entre o patim e o gelo durante travagens bruscas e aterragens depois de um salto. Controlar esses momentos com os músculos estabilizadores dos tornozelos exigia ao atleta enormes quantidades de energia se não fosse o *design* dos patins de hóquei no gelo. Como os patins mantêm a estabilização pelo atleta, esta energia pode ser usada para aumentar a *performance* do patinador [20].

3.1.2 Estudo Energético do Remate

Como já foi referido, no hóquei em patins não há muitos estudos acerca dos acontecimentos físicos presentes no remate, ao contrário do que acontece no hóquei no gelo. No entanto, esta análise feita no hóquei no gelo pode ser perfeitamente transportada para o hóquei em patins.

Começa-se por assumir que a parte superior do corpo e o aléu rodam juntos com a mesma velocidade angular em torno de um ponto, o pivô, localizado perto do centro de gravidade do atleta. Este movimento de rotação, até ao momento em que o aléu atinge o solo, ou ponto inferior, é parecido com o movimento de *swing* do golfe. O plano de rotação do aléu não seja vertical como no golfe nem horizontal como no baseball mas localizado entre os dois. A orientação deste plano não é importante no estudo seguinte [2], [13], [26], [27], [28]. Na Figura 20 encontra-se um esquema de um atleta a rematar com o plano de rotação definido.

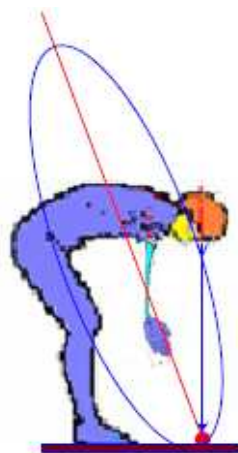


Figura 20 - Posição ideal da bola durante o remate e plano de rotação (a vermelho) [2]

Num movimento de rotação a velocidade angular é igual em qualquer ponto do aléu, no entanto o mesmo não acontece com a velocidade linear. Quanto mais longe o ponto estiver do centro de rotação, maior é a velocidade linear deste. Portanto, se o aléu e o atleta rodarem juntos, a pá do aléu tem uma velocidade linear superior que a mão de batimento.

Todos os objetos que se movem numa linha reta possuem quantidade de movimento linear, enquanto os objetos que apresentam rotação têm quantidade de movimento angular.

A ideia num remate é a conversão da quantidade de movimento angular (L) do sistema aléu mais atletas em quantidade de movimento linear (P) da bola. De notar também a presença de alguma quantidade de movimento linear do sistema atleta-aléu pelo facto de o atleta estar em movimento na pista de jogo na altura do remate.

A quantidade de movimento linear P é definido por [29].

$$\vec{P} = M \cdot \vec{v}_{cm}$$

6

E a quantidade de movimento angular L é definido por [29]:

$$\vec{L} = I\vec{w}$$

7

Sendo I o momento de inércia e w a velocidade angular.

Estamos pois perante um problema de colisão com rotação[13], pelo que é importante falar primeiro no momento de inércia.

Momento de Inércia

O momento de Inércia depende da distribuição da massa num objeto e determina a resistência de um objeto a ser rodado. Quanto mais afastado do pivô estiver a distribuição de massa maior é o momento de inércia.[13]

O momento de inércia (ou inércia rotacional) I do corpo em relação ao eixo de rotação é dado pela equação: [29]

$$I = \sum m_i r_i^2$$

8

O momento de inercia de um atleta a fazer um remate depende da sua massa, do posicionamento deste em relação ao aléu, da massa e comprimento do aléu. A influência deste no remate será tratada em maior profundidade mais à frente.

Colisão ou Impacto

Uma colisão acontece quando a força que atua sobre um corpo é breve, tem grande intensidade e muda repentinamente o momento do corpo, tal como acontece num remate de hóquei em patins. As colisões ocorrem de forma frequente no nosso mundo, sendo que, quando acontecem entre automóveis podem ter consequências catastróficas.

Grande parte dos problemas de colisão e impulso são resolvidos na física usando o princípio da conservação de momento. Esta lei pode ser escrita por:[29]

$$\vec{P}_i = \vec{P}_f \text{ (sistema isolado e fechado)}$$

9

Esta equação defende que o momento total antes de uma colisão é igual ao momento total após esta, isto admitindo que não se verifica dissipação de energia pela deformação plástica ou calor.

Embora as forças internas possam alterar a quantidade de movimento linear de partes do sistema, elas não podem alterar o momento total deste.

As colisões podem ser divididas em dois tipos:

- Colisões elásticas;
- Colisões inelásticas.

Se a energia cinética total do sistema não for alterada pela colisão, esta energia é conservada, sendo então a colisão denominada elástica.

No entanto, as colisões reais têm sempre alguma energia dissipada para outras formas como energia térmica e energia sonora. Sendo assim a energia total não é conservada sendo a

$$I\vec{w}_{1i} = I\vec{w}_{1f} + mR^2\vec{w}_{2f}$$

13

Onde w_{1i} e w_{1f} são as velocidades angulares do sistema atleta mais aléu antes e após o remate, respetivamente e w_{2f} é a velocidade final da bola. Embora a bola não descreva uma trajetória circular depois da colisão, a velocidade linear desta (v) está relacionada com w_{2f} da seguinte forma:

$$\vec{v} = R \cdot \vec{w}_{2f}$$

14

Na equação 13 assume-se que o momento de inércia do atleta mais aléu se mantém constante durante a colisão, que é justificado pelo tempo reduzido em que ocorre a colisão.

Conservação da energia cinética

Se após o remate nenhuma deformação permanente acontecer, ou seja, se o aléu não partir, a energia cinética total também é conservada. A energia cinética de um corpo em rotação é: [13],[29]

$$E_{cinética} = \frac{1}{2} I \vec{w}^2$$

15

E para a bola a equação da energia cinética é: [29], [13], [2]

$$E_{cinética} = \frac{1}{2} m * \vec{v}^2$$

16

Aplicando a conservação da energia cinética temos que

$$E_{cinética_i} = E_{cinética_f}$$

17

$$\frac{1}{2} I w_{1i}^2 = \frac{1}{2} I w_{1f}^2 + \frac{1}{2} m w_{2f}^2$$

18

$$w_{2f} = \frac{2I}{I + 2mR^2} w_{1i}$$

19

Em imagens de remates é possível ver que o aléu se deforma aquando do contacto com a bola, sugerindo que a força de contacto entre o aléu e a bola é significativa. Podemos estimar a força do impacto assumindo que a bola está sobre a influência de uma força

constante aplicada durante uma distância d . O trabalho que esta força aplica na bola é dada por [13], [29]:

$$W = \vec{F} \cdot d \quad 20$$

Este trabalho é convertido em energia cinética para a bola sendo

$$W = \frac{1}{2} m \overrightarrow{v_{2f}}^2 \quad 21$$

$$\vec{F} \cdot d = \frac{1}{2} m \overrightarrow{v_{2f}}^2 \quad 22$$

Assumindo que a aceleração da bola é uniforme, a distância percorrida é dada por:

$$d = \frac{1}{2} \vec{v}_{1i} \cdot \Delta T \quad 23$$

No final temos:

$$\frac{1}{2} \vec{F} \cdot \vec{v}_{1i} \cdot \Delta T = \frac{1}{2} m_b \cdot \vec{v}_{2f}^2 \quad 24$$

A força pode variar durante o tempo de contacto, mas pelo menos tem-se uma ideia da magnitude da força durante o contacto.

A energia do movimento do remate gera forças que se manifestam no aléu e que terão de ser suportados por diferentes grupos musculares dos membros superiores:

- São forças específicas que realizam as técnicas do manejo;
- São forças instantâneas que se geram no momento do impacto.

Sendo o corpo humano formado por um conjunto ósseo, ligado por diversos tipos de articulações, aquelas que são solicitadas no remate devem ficar rígidas, isto é, ser estabilizadas no momento do impacto. Segundo Honório, se as articulações cederem no momento do impacto é sinal que faltou força em um ou vários grupos musculares.[2] No entanto, no hóquei no gelo, durante o remate *slap shot* os atletas de elite usam o movimento de *snap* dos pulsos para aumentar a performance do remate, como será visto mais à frente.[26] Neste caso apenas são estabilizadas parte das articulações e o remate é realizado em duplo apoio.

3.1.3 Formas de Aumentar a Velocidade do Remate.

Analisando a equação 19 e a equação 24 pode-se ver que a forma de aumentar a velocidade da bola (o objetivo pretendido) e excluindo as perdas energéticas pode resultar de quatro hipóteses[13]:

- Aumentar a força aplicada pelo aléu na bola;
- Aumentar a velocidade do aléu;
- Aumentar o momento de inércia do sistema aléu mais atleta;
- Aumentar o tempo de contacto.

Com a referência do hóquei no gelo e segundo alguns autores a trajetória bem como a velocidade do disco dependem de alguns fatores como:[30],[31],[32]

- Impulso no disco;
- Aceleração no disco;
- Tempo de contacto entre o disco e a lâmina;
- Forças exercidas pelo atleta;
- Rigidez do *stick*;
- Entre outras

Como já foi referido que o *stick* de hóquei no gelo e o aléu de hóquei em patins são semelhantes, no texto seguinte, e para simplificar, apenas se fala no aléu como representando os dois.

Como seria de esperar as conclusões retiradas da equação 24 e dos autores que analisaram o remate do hóquei no gelo são muito parecidas. A força exercida pelo aléu na bola depende de fatores como a força exercida pelo atleta e da rigidez do aléu, rigidez esta que será analisada mais à frente. Quanto ao impulso e à aceleração do projétil, são dependentes da velocidade do aléu. Por último, a rigidez do aléu, além de ter influência na força devolvida pelo aléu à bola, também tem no tempo de contacto.

Tanto a velocidade do aléu como as forças exercidas pelo atleta apenas podem ser melhorados através do treino, algo a ser estudado pelos licenciados nas artes do Treino Desportivo.

Quanto ao momento de inércia, quanto maior este for, com maior velocidade a bola sairá durante o remate. Este aspeto também pode ser melhorado com o treino. Como seria de esperar, balanceando o aléu como um taco de baseball não vai colocar muito impulso do corpo no aléu. Tomando uma postura que coloque muito do peso do corpo no aléu e segurando o aléu mais em baixo (o mais longe possível do centro de massa) é muito mais efetivo. Na experiência realizada por Wu em 2002, os atletas de Elite colocavam a mão inferior a $0,551 \pm 0,077\text{m}$ do solo enquanto os atletas amadores colocavam a mão inferior a $0,624 \pm 0,094\text{m}$ do solo.[33] Isto é evidente na Figura 22 onde se vê um atleta de hóquei no gelo, Sabre Michael Peca a por quase o peso todo do seu corpo atrás do *stick*. [13]



Figura 22 - Michael Peca a colocar o peso do seu corpo atrás do *stick*. [13]

Este movimento também pode ser visto no remate do hóquei em patins, como se pode ver na Figura 23



Figura 23 - Atleta de hóquei em patins a efetuar o remate [16]

No remate no hóquei no gelo existe uma “transferência do peso corporal” do atleta que é criado movendo o corpo na direção do remate. Quando um atleta começa o movimento de remate, a maior parte do seu peso encontra-se na sua perna de trás, a mais afastada do disco. Quando o *stick* começa a fazer o movimento de swing, o peso do corpo do atleta muda gradualmente da perna de trás para a perna da frente, a mais próxima do alvo, até que ele está totalmente suportado nessa perna. Nesse ponto ele ergue a perna de trás de forma a estabilizar a parte superior do corpo e para ajudar a manter o equilíbrio, como um lançador no baseball quando acaba de lançar a bola. Este movimento de trás para a frente do atleta, acompanhado do movimento rotacional, reforça o momento do atleta e dá ao disco energia cinética. Se o atleta estiver em movimento ou seja, a patinar, parte dessa quantidade de movimento linear também será transferido para o disco. [13]

No hóquei em patins, este movimento não é igual ao remate de hóquei no gelo. A transferência do peso corporal não existe no remate, pois no hóquei em patins os atletas não contam com um terceiro apoio, o aléu quando pressionado contra o solo, como acontece no hóquei no gelo. Durante o movimento do remate, o atleta coloca o peso do seu corpo sobre a perna de apoio, sendo que a bola se encontra na posição perpendicular à vista. Os atletas de

hóquei em patins contam com outro artifício para se equilibrar na altura do remate. O pé da perna que levanta efetua um movimento de rotação que permite ao atleta equilibra-se sobre um único patim quando efetua o remate. Este movimento é mostrado na sequência de imagens seguintes:



Figura 24 - Movimento do pé levantado aquando do remate para ajudar o atleta a manter o equilíbrio.

Rigidez do aléu

Foi realizado um estudo onde os autores deram a diferentes tipos de atletas de hóquei no gelo um conjunto de *sticks* com rigidez diferentes que estes usaram para efetuar dois tipos de remates: *slap shot* e *wrist shot*. Era previsto que os *sticks* mais flexíveis permitiam maiores deformações resultando numa maior energia armazenada. Os resultados deste estudo apenas suportam esta hipótese no *wrist shot*, onde os atletas conseguiam aumentar a energia armazenada no cabo nos *sticks* mais flexíveis e realizavam assim velocidades mais elevadas. No entanto para o *slap shot* os atletas reagiam aos diferentes *sticks* utilizados, alterando as forças aplicadas nestes. A maior flexibilidade não resultava em maiores deformações e, apesar da diferente rigidez dos *sticks*, não se verificava o aumento de energia depositada nos diferentes *sticks*. [34]

Noutro estudo, desta vez realizado por Pearssal et. all [24] foi permitido observar as interferências entre o ressalto do *stick* de hóquei no gelo e a troca de energia entre o *stick* e o disco.

Durante a fase de pré-carregamento e a de carregamento a energia cinética do *stick* devido ao movimento de swing é convertida em parte em:

- Energia elástica acumulado no cabo do *stick*;

- Energia cinética no disco devido à transferência de momento durante o impacto.

Depois, o *stick* recupera a sua forma (movimento de ressalto) e a energia elástica acumulada neste é libertada e é em parte ou no todo transmitida para o disco. O impulso pode ser completamente transferido para o disco somente se este for otimamente controlado no tempo para permitir que o contacto lamina-disco se dê até à fase de lançamento do disco (como observado no grupo de Elite). Assim sendo a energia elástica armazenada no *stick* pode contribuir mais para a velocidade do disco[24].

No entanto, o material com que o *stick* é feito tem pouca influência na velocidade do remate. Um estudo realizado para o hóquei no gelo com *sticks* com materiais de diferente rigidez (médio 13.0 KN/m, madeira dura 16.6 KN/m e compósitos de carbono 17.9KN/m), mostrou isso mesmo, como mostrado na Tabela 2. Os valores de rigidez acima apresentados foram calculados através da flexão em três pontos [33].

Tabela 2 - Velocidade máxima média para cada tipo de *stick* para cada grupo. [adaptado de[33]]

Homem/Elite			Mulher/Elite		
Tipo de <i>stick</i>	Velocidade (m/s)	DP	Tipo de <i>stick</i>	Velocidade (m/s)	DP
Compósito	30.6	2.6	Compósito	18.4	2.8
Médio	29.2	2.6	Médio	18.7	2.8
Madeira Dura	30.3	2.5	Madeira Dura	19.2	2.1
Homem/Amador			Mulher/Amador		
Tipo de <i>stick</i>	Velocidade (m/s)	DP	Tipo de <i>stick</i>	Velocidade (m/s)	DP
Compósito	23.0	3.8	Compósito	12.4	1.9
Médio	23.3	3.6	Médio	14.0	2.4
Madeira Dura	23.6	4.4	Madeira Dura	13.4	1.7

Entende-se por DP desvio padrão.

Segundo o autor, tal pode dever-se à diferença pouco significativa entre a rigidez dos diferentes materiais que constituem os *sticks*.

Na Figura 25 apresenta-se em gráfico a análise atrás feita pelo autor, de forma a melhor mostrar que as velocidades de ponta não sofrem grandes alterações com as modificações dos materiais dos *sticks* analisados.

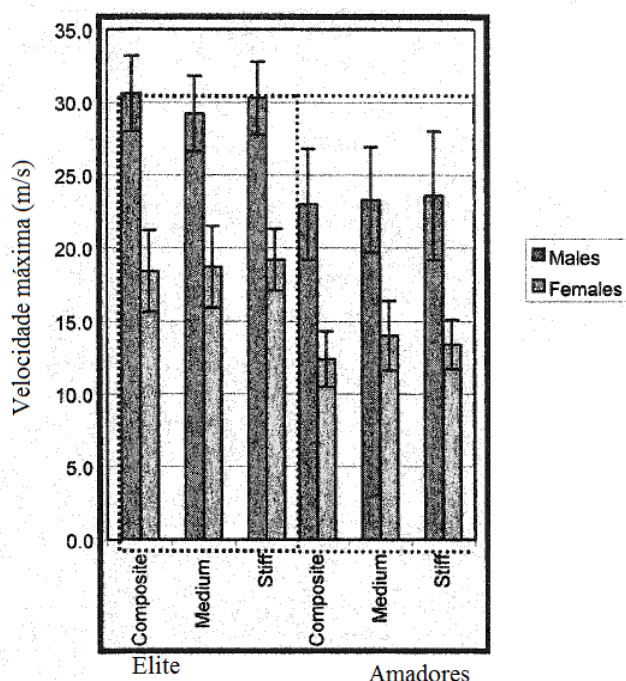


Figura 25 - Comparação dos modelos dos sticks [Adaptado de[33]]

Embora os autores não concordem nas razões pelo qual a rigidez do *stick* não influencia a velocidade final do remate, ambos chegaram à mesma conclusão quando afirmaram que a rigidez do *stick* não influencia o *slap shot*. Sendo assim é legítimo, por transposição do hóquei no gelo para o hóquei em patins, dizer que a rigidez dos aléus em pouco influencia a velocidade da bola num remate.

Forças transmitidas ao aléu

As forças que se transmitem ao aléu pela ação do seu impacto na bola podem ser analisadas como uma viga simplesmente apoiada (é possível a rotação), sendo os apoios constituídos pelas secções onde se encontram as duas mãos do atleta no aléu. Na Figura 26 podemos ver um esquema de tal encastramento. [2]

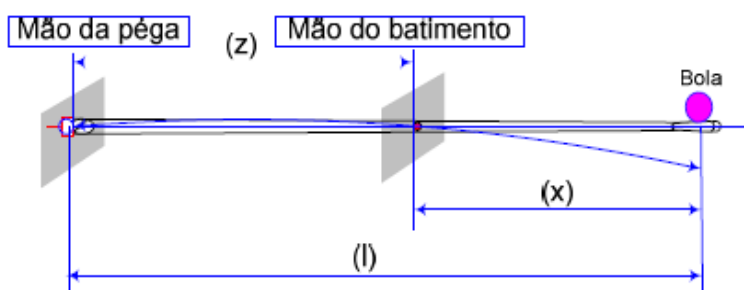


Figura 26 - Esquema de fixação do aléu como viga [2]

O aléu fica sujeito a dois tipos de esforços, flexão e torção.

O impacto do aléu na bola gera momentos de flexão e torção no aléu. O momento é determinado por: [29]

$$\overrightarrow{Mm} = \vec{b} \times \vec{F}$$

25

Sendo $\vec{F}$ a força e $\vec{b}$ o braço de alavanca, ou seja, a distância entre o ponto de aplicação da força e o ponto onde se está a calcular o momento. O momento vem expresso em N*m.

Na Figura 27 mostra-se o momento fletor e torsor num aléu de hóquei em patins.

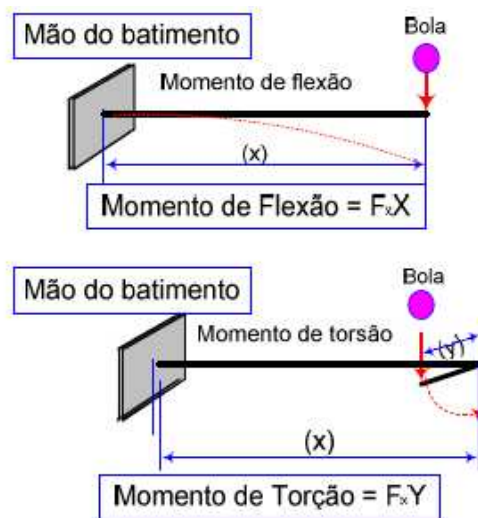


Figura 27 - Momento fletor e torsor num aléu de hóquei em patins [2]

Quanto maior for a distância entre o ponto onde a bola bate e a mão de batimento, X ou Y, maior será o momento fletor ou o momento torsor, respetivamente.

Como a pá do aléu de hóquei em patins é curva o impacto pode dar-se em vários pontos dessa curva. A construção do aléu tem que ter em consideração os valores do momento fletor e do momento torsor para prever a secção resistente.

As fraturas do aléu dão-se quando se atinge os limites das cargas de rotura à flexão ou à torção. As fissuras são normalmente originadas ao atingir os limites da carga de rotura do material do aléu e ou ainda pela deficiente colagem da fibra neutra.[2]

Tensões presentes no aléu

Aquando do remate há flexão em simultâneo com a torção. Para melhor compreender as tensões geradas por esta combinação de solicitações faz-se em primeiro lugar uma análise de uma viga à flexão.

Para uma viga sujeita à flexão as suas secções estão sujeitas a tensões normais que varia linearmente ao longo da sua espessura. Na Figura 28 apresenta-se uma das secções do aléu bem como um esquema das tensões normais a que esta está sujeita.

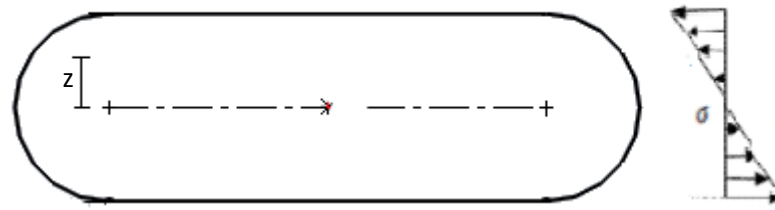


Figura 28 - Secção do aléu e distribuição das tensões normais

Para obtermos as distribuições de tensões de forma expedita aproxima-se a secção do aléu a um retângulo com os seguintes parâmetros, representado na Figura 29.

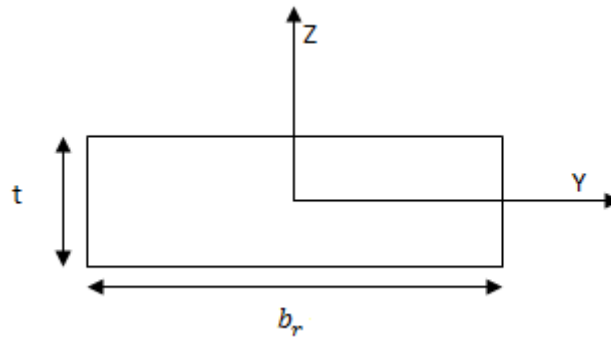


Figura 29 - Secção retangular que aproxima a secção do stique

Temos que a tensão normal é dada por:[35]

$$\sigma_x = - \frac{Mm * z}{\frac{b_r^3 t}{12}}$$

26

Como vemos pela equação 26 e pela Figura 28, a tensão máxima encontra-se quando z é máximo, ou seja, quando z toma o valor de metade da espessura do aléu.

Analise-se agora a componente da torção do veio.

Para o caso da Figura 29 podem considerar-se as seguintes equações:[35]

$$\tau_{xy} = \frac{\alpha M_t z}{\pi b_r t^3}$$

27

$$\tau_{xz} = \frac{\alpha M_t y}{\pi b_r^3 t}$$

28

Através da análise das equações 27 e 28e sabendo que $b_r \gg t$ temos que $\tau_{xy} \gg \tau_{xz}$, sendo por isso mais importante.

O valor de α é um fator de correção que pode tomar os valores representados na Tabela 3.

Tabela 3 - Fatores de correção para as equações 26 e 27 [35]

b_r/t	∞	10,0	5,0	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0
α	3,00	3,20	3,44	3,74	3,86	4,06	4,33	4,80

No caso do aléu, o fator b_r/t estará à volta de 2,5, sendo então o valor de α próximo de 3,85.

Analisando a equação 27 pode ver-se que as tensões de corte máximas se encontram quando $z = t/2$, ou seja, no perímetro da secção e a meio do lago maior.

Partindo destes dois valores de tensão é possível chegar ao Círculo de Mohr, que representa o estado de tensões num ponto, como se pode ver na Figura 30. Através deste círculo é possível calcular qualquer tensão no ponto calculado.

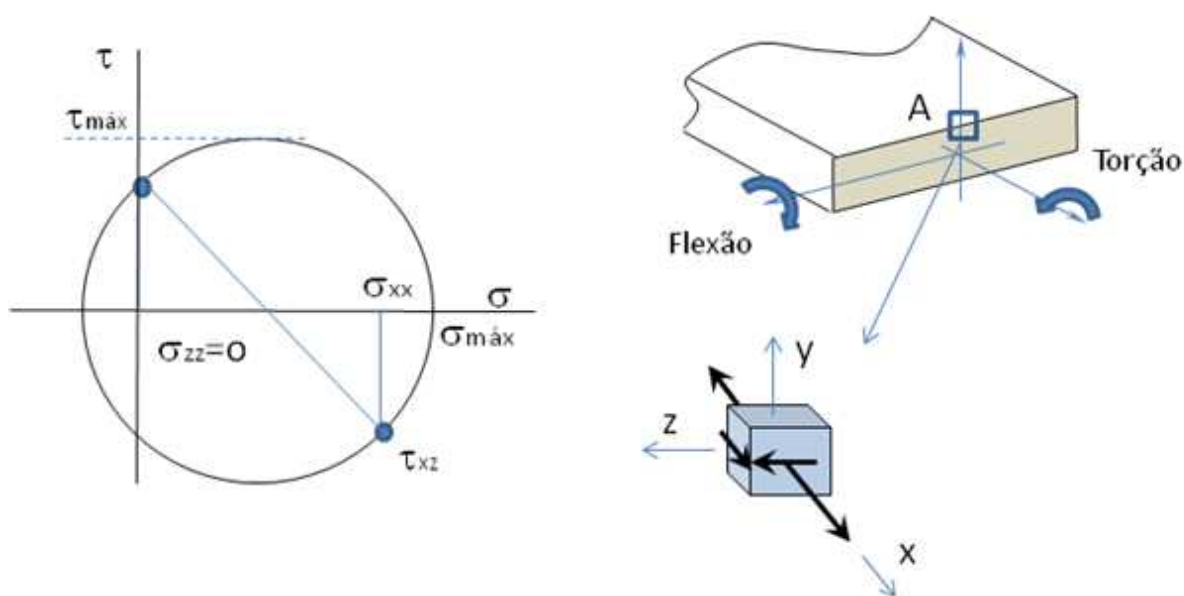


Figura 30 - Estado de tensão no ponto mais solicitado da secção devido às cargas de flexão e de torção correspondente ao ponto A.

Por fim podemos referir que o momento fletor tem a sua maior influência nas tensões normais σ_x e o momento torsor tem mais influência na tensão de corte. Deve referir-se que como coexistem ambos os esforços, as tensões máximas, quer de flexão, quer de corte depende da proporção entre elas, como se pode ver pelo círculo de Mohr que se mostra na Figura 30.

Tempo de contacto

Neste capítulo pretende demonstrar-se que através de maiores tempos de contacto entre o aléu e a bola é possível lançar esta a velocidades superiores, isto devido a uma maior transmissão de energia entre o aléu e a bola.

Os artigos analisados que permitem dar suporte a estas conclusões referem-se ao hóquei no gelo. Contudo, como já foi explicado anteriormente no que ao remate diz respeito estas duas modalidades apresentam semelhanças importantes que podem ser consideradas nesta análise.

Num estudo realizado por Villasenor, Turcotte e Pearsall, foi comparada a velocidade do disco após o impacto com o *stick*, num remate *slap shot* entre atletas de Elite e atletas amadores ou recreativos. Neste estudo foi possível provar que os atletas de Elite rematavam o disco a velocidades superiores que os atletas amadores, como seria previsível. No entanto, ao contrário do que seria de esperar, tal não se deveu à possível diferença da magnitude da força aplicada pelos atletas nos *sticks* e consequentemente na bola. Esta conclusão foi possível devido à aplicação de um acelerómetro no disco, que permitiu medir a aceleração linear deste. Nos ensaios realizados pelos autores, foi possível averiguar que as acelerações lineares do disco nos remates dos diferentes atletas eram parecidas entre os atletas de Elite e os atletas amadores, o que leva a concluir que as forças aplicadas foram também parecidas. A diferença entre os dois tipos de atletas deveu-se aos diferentes tempos de contacto na bola, como mostrado na Tabela 4 [24].

Tabela 4 – Aceleração do disco, velocidade do disco e tempo de contacto durante o *slap shot*. [24]

Nível	Elite		Recreativo	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
A_p (g)	63.8	9.9	61.8	19.5
V_p (m/s)	33.6	5	22.3	3.2
$T_{contact}$ (ms)	38	9	27	5

Os autores Lomond, Turcotte e Pearsall, noutro estudo também confirmaram que os atletas de Elite conseguem tempos de contacto maiores entre o *stick* e o disco que os atletas amadores, como pode-se observar-se na Tabela 5. [26]

Tabela 5 - Duração do tempo de cada fase no “slap shot” dos diferentes grupos. [Adaptado de [26]]

Fase	Tipo de grupo	Tempo médio absoluto (s)	DP
Δt_1	Elite	0,006	0,006
	Recreativo	0,009	0,005
Δt_2	Elite	0,014	0,005
	Recreativo	0,017	0,005
Δt_3	Elite	0,027	0,005
	Recreativo	0,024	0,005

Nesta experiência a velocidade do disco no grupo de Elite foi 73.7 ± 13.6 m/s enquanto no grupo de amadores foi de 66.9 ± 14.9 m/s, o que vem reforçar a análise atrás feita. [26]

Nesta análise foi também medida a distância linear percorrida pelo *stick* ($d_b(m)$) durante as diferentes fases do remate bem como a velocidade nestas fases ($v_b(m/s)$). Esta análise está representada na Tabela 6.

Tabela 6 - Componente segundo a direção do remate da distância percorrida pelo *stick* e da velocidade. [Adaptado de [26]]

		TC		HC		PC		S-OFF	
		Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
$d_b (m)$	Elite	0,047	0,18	0,59	0,19	0,74	0,15	1,41	0,21
	Recreativo	0,053	0,13	0,60	0,15	0,75	0,16	1,26	0,17
$v_b (ms^{-1})$	Elite	20,73	1,66	18,82	1,77	17,68	2,00	27,51	4,31
	Recreativo	20,43	2,58	19,88	2,43	18,31	3,31	15,14	6,27

Para relembrar as diferentes fases do remate de *slap shot* mencionadas na Tabela 6, volta-se a referir as definições apresentadas na lista de símbolos e abreviaturas.

- TC - Contacto entre os dedos da lâmina e o solo
- HC - Contacto entre o calcanhar da lâmina o solo
- PC - Contacto entre a lâmina e o disco
- S-OFF – Lâmina deixa de estar em contacto com o solo

A conclusão tirada pelo estudo foi que não havia grandes diferenças observadas na distância percorrida pelo *stick* entre os dois grupos em TC, HC e PC. No entanto, entre PC e S-OFF o grupo de Elite conseguiu que a distância percorrida pelo *stick* durante o contacto entre este e o disco fosse maior que a apresentada pelo grupo amador.[26]

Quanto à velocidade, v_b , as únicas diferenças importantes ocorreram em HC e S-OFF como se pode verificar na Tabela 6. Também se pode retirar que as velocidades geradas pelo grupo de Elite durante o remate são consideravelmente superiores às obtidas pelo grupo recreativo.

Analisando a Tabela 5 e a Tabela 6, pode reparar-se, que apesar da velocidade do *stick* quando em contacto com a bola ser muito superior no grupo de Elite, a distância percorrida pelo conjunto stick-disco durante o contacto, é suficientemente longo para que, mesmo assim, o tempo de contacto seja superior nos atletas de Elite.

Em análise da Tabela 6, verifica-se que a velocidade linear do *stick* diminui entre TC, HC e PC devido à fase em que o cabo do *stick* está a deformar-se, acumulando energia potencial elástica.[26]

Outra nota importante deste mesmo estudo é que existe uma clara tendência, entre a fase TC e HC, de carregar a lâmina desde os “dedos” até ao “calcanhar” numa forma “rocker”. Esta “fase de rocker” é função da geometria do *stick* (especialmente do “*lie angle*”). Ou seja, sendo as outras variáveis constantes, aumentando o *lie angle* resulta num TC mais cedo, aumentando Δt_1 , Δt_2 e Δt_3 , aumentando assim o tempo de contacto entre o disco e a lâmina.[26] Na Figura 31 apresenta-se o “*lie angle*” de um *stick*.

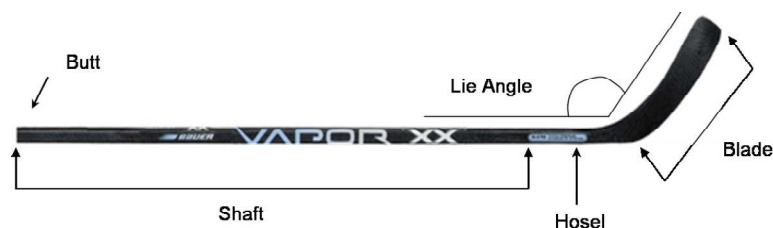


Figura 31 - *Stick* de hóquei no gelo [36]

No hóquei em patins a variação deste ângulo começa a ser explorada pelos fabricantes de aléus. A Jet desenvolveu o aléu Jet Special Force onde o *lie angle* é maior que no aléu Jet Compac, como é visível na Figura 32. O aléu Jet Compac apresenta-se a vermelho e o aléu Jet Special Force apresenta-se a verde. Deste modo se mostra uma tentativa de fabricantes nacionais de stiques para realizar alterações de geometria que não colidam com os regulamentos desportivos.

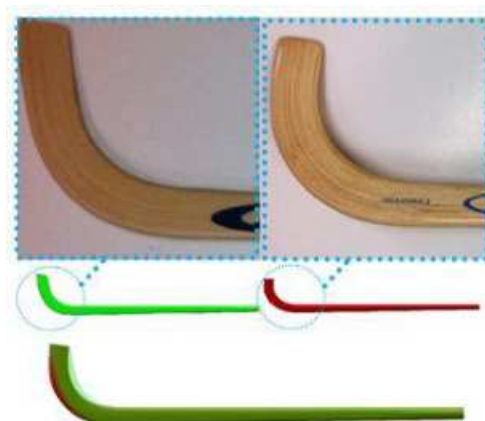


Figura 32 - Sobreposição dos dois aléus. O aléu Jet Compac apresenta-se a vermelho e o aléu Jet Special Force apresenta-se a verde. [4]

Embora no hóquei em patins não seja possível promover o contacto entre o aléu e o ringue, um maior *lie angle* permite que o atleta consiga chegar com a ponta do aléu mais facilmente à altura da bola aquando de remate, algo que é mais complicado no aléu Jet Compac, onde o *lie angle* é menor.

Durante o remate de *slap shot*, os atletas de elite conseguem uma amplitude do angulo de inclinação maior, o que sugere uma giração maior dos pulsos (por exemplo combinação entre flexão/extensão e pronação/supinação) para abrir mais a lâmina. Este ponto coincide com descrições prévias que sugerem que o movimento de *snap* dos pulsos é importante durante o *slap shot* onde, quando o *stick* se move desde o *backswing* ate ao *downswing*, o pulso da mão que desempenha a pega muda desde a supinação até a extensão e o pulso da mão que desempenha o controla altera da pronação para a flexão.[37] [38]. O *snap* do pulso é pensado para ajudar a aumentar a aceleração do disco, aumentando o tempo de contacto entre o disco e a lâmina.[26]

Através desta análise do estudo feito pode transferir-se para o hóquei em patins. Quando o remate é efetuado com a ponta do aléu, os pulsos são obrigados a fazer o movimento acima mencionado, levando a uma maior eficácia do remate em termos da velocidade da bola. Este aumento, tal como no caso do hóquei no gelo pode originar maiores tempos de contacto, aumentando assim a energia transferida do aléu para a bola. Por outro lado, a “*rocker phase*” atrás descrita, que no hóquei no gelo, se consegue com o contacto entre os dedos da lâmina e o solo, também poderia ser conseguida no hóquei em patins com a bola a bater mais na ponta do aléu.

Devido às conclusões tiradas acima sobre o tempo de contacto poderá ser então pensado que o remate de empurrão poderia transmitir mais energia à bola visto que é um remate com o tempo de contacto muito superior ao do remate batido. No entanto, a bola é leve e oferece pouca inércia, daí que a sua aceleração necessita de ser muito grande. Além disso a energia libertada no remate de pulso vem do movimento de varrer em vez de usar o movimento de rotação do corpo. A amplitude do movimento de varredura é metade ou menos de metade que a do movimento de rotação do corpo durante o remate batido. Sendo assim o corpo não consegue construir tanta energia e velocidade durante o movimento de varredura.[13]

Outra conclusão que se pode tirar é que, durante o remate, a lâmina não se encontra em permanente contacto com o disco, sendo que o tempo de contacto corresponde entre 80 e 85% do tempo total entre o tempo inicial do contacto (t_1) e o tempo final do mesmo (t_6), como se verifica na Figura 33. Importante referir que para considerar a existência de contacto o autor exigiu que a aceleração no disco fosse superior a 10g [24].

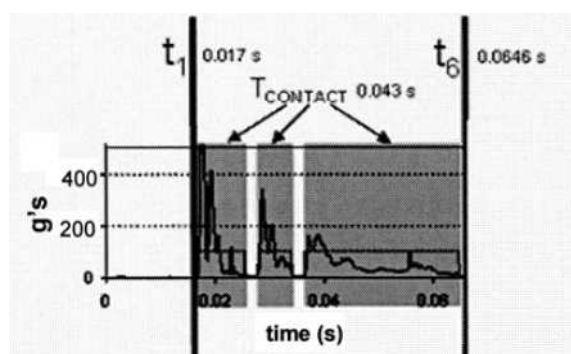


Figura 33 - Aceleração do disco vs. tempo de contacto [24].

Analisando o caso estudado por José Ferreira[4] sobre o comportamento do aléu durante o remate também se pode ver que a bola de hóquei em patins não se encontra em contacto permanente com o aléu devido à presença de dois pontos de impacto aquando do remate, como pode ser observado na Figura 34.

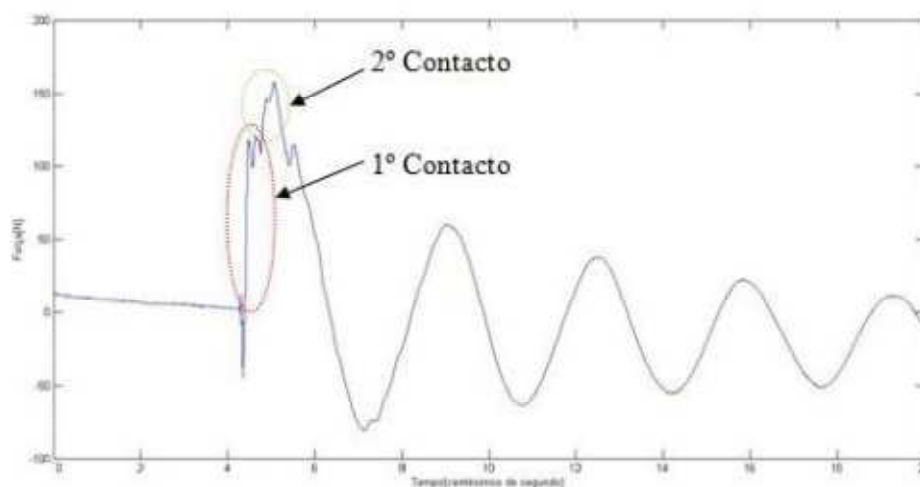


Figura 34 - Força (N) vs. Tempo (centésimos de segundo)[4]

Outro desporto de impacto, como já foi visto atrás é o golf. O tempo de contacto no golf atinge valores entre 400ms e 600ms, usando um taco #1 madeira, dependendo da velocidade do taco bem como da composição da bola, tal como no hóquei em gelo e em patins. No golfe a bola é muito deformada durante todo o processo do impacto. Esta deformação da bola permite aumentar o tempo de contacto. [39] No hóquei em patins, devido à natureza do material que constitui a bola, a deformação desta é mínima não sendo possível assim aumentar o tempo de contacto através da deformação da bola, é pois necessário recorrer a outros processos para este fim. Na Figura 35 apresenta-se a bola de golfe a deformar-se durante o impacto.



Figura 35 - Deformação da bola de golfe durante o impacto. [40]

Como forma de aumentar o tempo de contacto pode:

- Alterar-se a rigidez do aléu;
- Treinar os atletas de forma à velocidade do aléu durante o contacto ser próxima da velocidade da bola;

- Usar a torção do aléu de forma a aumentar o tempo de contacto, com a ajuda do movimento rápido de rotação das articulações dos pulsos.

Alterando a rigidez do aléu pode alterar-se os tempos de contacto. Um aléu com o cabo menos rígido apresenta maiores deformações e leva a que o tempo de contacto seja maior, levando a uma maior velocidade da bola.[4] No entanto já foi visto atrás que este método não é muito efetivo dadas as características dos stique de hóquei em patins.

A segunda forma, tal como o aumento da força aplicada e como o aumento da velocidade do aléu só é possível através do treino específico.

A última forma requer o uso do remate com a ponta do aléu. Este tipo de remate consiste em rematar a bola com a ponta do aléu, os “dedos da pá” de forma a criar um efeito de torção e aplicar assim um tempo de contacto maior. Neste caso é a rigidez do movimento de pronação do braço do atleta que poderá ser ajustada para aumentar a eficiência do remate se diminuir a sua velocidade.

3.2 Precisão

Um remate à baliza, mesmo um remate fraco, dá sempre uma oportunidade de marcar. Dado que o golo é o principal objetivo do atleta e muitos golos já forma marcados só porque alguém rematou e tirou partido das contingências do jogo, tais como, distração do guarda-redes, ressalto imprevisto, etc.

No entanto, a precisão é um dos principais objetivos do treino para se conseguir um bom remate no hóquei. Se bem que o projétil de hóquei em patins deva viajar rapidamente, de nada serve se o remate for mal direcionado. Uma boa parte do treino é dirigida ao desenvolvimento e manutenção de boas capacidades de remate. No entanto, tal como lançar dardos, rematar à baliza tem alguma quantidade de sorte associada. Nos desportos coletivos os jogadores muitas vezes confiam na sorte e esperam que a bola, no caso do hóquei em patins atinja a baliza.

Uma importante definição na precisão de um remate é a margem de erro. Chama-se margem de erro o ângulo horizontal dentro do qual a bola atinge a baliza. Na Figura 36 mostra-se a margem de erro.[13] Esta variação tem a ver com a projeção da área de baliza segundo a direção perpendicular à trajetória da bola. De referir que as dimensões e geometria da bola não permitem aplicar-lhe efeitos de spin de forma eficaz, razão pela qual a trajetória da bola é a de um projétil que se desloca segundo uma trajetória parabólica que no plano horizontal se projeta numa linha.

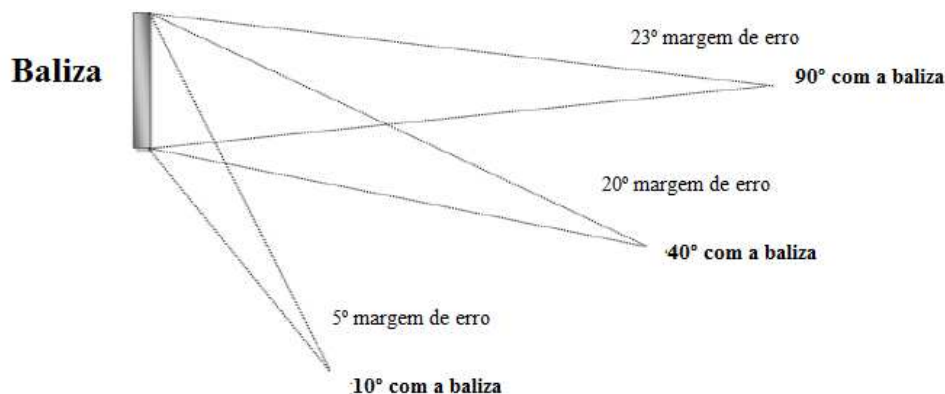


Figura 36 - Margem de erro com a posição do remate em relação à baliza. [Adaptado de [41]]

A margem de erro pode ser tratada de forma analítica[13]

$$\Delta\theta_x = 2 \arctan \frac{\Delta_x}{2d_a}$$

29

Sendo Δ_x a largura do alvo do ponto de vista da bola aquando do remate e d_a a distância da bola à baliza. Sendo assim, Δ_x é definido por

$$\Delta_x = w_{th} \sin \beta$$

30

Sendo w_{th} a largura do alvo e β o ângulo entre a linha de golo e a reta que une a bola ao centro da baliza.

Como se pode analisar pela Figura 36 e pela equação 29, quanto mais afastado o atleta estiver da baliza menor será a sua margem de erro. Além disso, se o atleta remata quando se encontra com um ângulo muito pequeno em relação à baliza, as suas hipóteses de sucesso são menores. Para entender melhor esta ultima frase basta pensar que um atleta na perpendicular à linha de golo (90° com a baliza) tem mais hipóteses de acertar nesta que um atleta que remata no eixo da linha de golo (0° com a baliza).

Até agora só se abordou o remate rasteiro ao solo, onde existe apenas 1 grau de liberdade, no entanto. No hóquei em patins, a baliza é tridimensional, sendo que a sua entrada se encontra num plano vertical, o que também deve ser tido em conta.

A equação que determina a margem de erro vertical é:[13]

$$\Delta\theta_y = \frac{\Delta_y}{d_a}$$

31

Além destes dois parâmetros, outro parâmetro importante é a velocidade. A velocidade do remate está ligada à margem de erro vertical, devido ao efeito da gravidade num projétil. Depois do seu lançamento, o projétil apresenta aceleração vertical na direção do solo (do centro da Terra), levando a que este apresente uma trajetória parabólica, como qualquer grave, como pode ser visto na Figura 37.

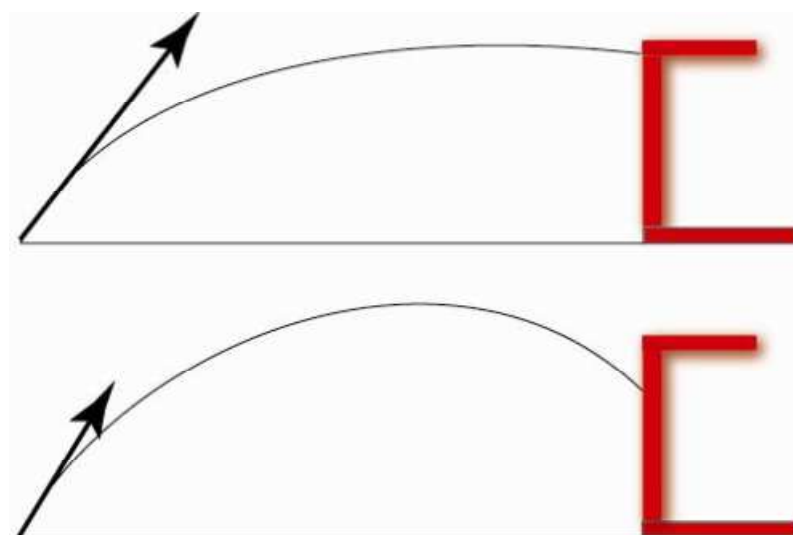


Figura 37 - Trajetória parabólica de bola durante um remate. [36]

Quanto maior for a velocidade, menor será a influência da força da gravidade na bola, visto que a bola está menos tempo sobre a ação da gravidade. Outra forma de compensar o efeito da gravidade consiste em rematar a bola ligeiramente acima do alvo, aumentando assim o ângulo de remate o que é também um fator importante[17], como pode ser visto na Figura 38.

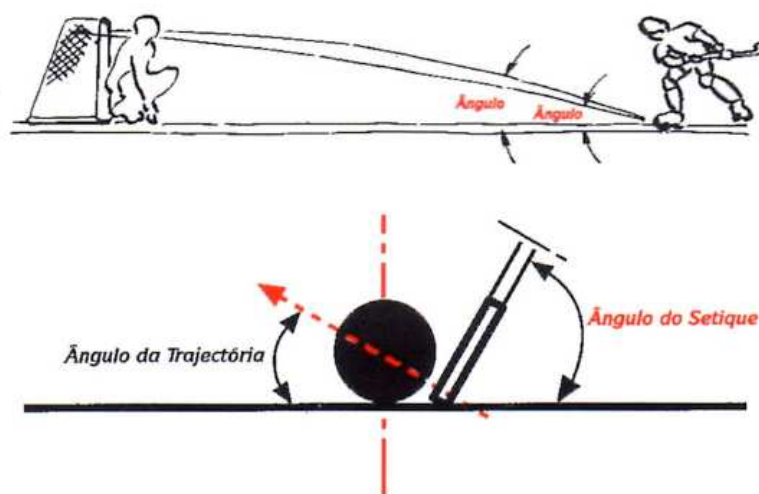


Figura 38 - Ângulo do aléu [17]

O remate batido tem menor precisão que o remate empurrado pois, quanto menor for o tempo de contacto entre a bola e o aléu, maior será a dificuldade de a controlar. As leis da física sugerem e a experiência confirma que o remate batido não é forma mais assertiva de

rematar, não sendo assim recomendado para curtas distâncias onde um remate de empurrão mais rápido e mais preciso é a opção mais correta.[13]

Como nota final, embora a resistência do ar afete a trajetória da bola, não é esperado que altere significativamente as margens de erro, que já são aproximações. Sendo assim, as equações 29 e 31 são válidas com ou sem a presença da resistência do ar dado que a influência desta deverá ser diminuta.[13] No treino do remate, além das considerações anteriormente estabelecidas sobre a visibilidade da área de entrada da baliza o atleta que realiza o remate deverá também explorar as fraquezas dos guarda-redes, isto é, procurar colocar a bola onde ele tem mais dificuldade em interceptá-la.

Através de algumas perguntas realizadas a alguns guarda-redes de hóquei em patins os pontos de mais difícil acesso para os guarda-redes são:

- Imediatamente acima dos ombros, o do lado da luva sem o aléu mais que o do outro lado, devido ao difícil acesso com as luvas, de referir que os guarda-redes têm sempre um aléu numa das mãos e que em caso algum poderão largá-lo, nesse caso é marcada grande penalidade;
- Junto ao pé da perna contrária à mão que segura no aléu, logo acima da caneleira, visto de ser uma posição anatomicamente de difícil acesso.

Estes pontos são variáveis, pois dependem da posição do guarda-redes, sendo necessário ao rematador a olhar para a baliza e para a posição do guarda-redes para conseguir determinar os pontos acima mencionados.

Quanto aos pontos fixos da baliza foi referido pelos guarda-redes que os pontos mais difíceis de defender são os ângulos superiores.

Na Figura 39 apresenta-se os pontos acima descritos:



Figura 39 - Zonas de difícil acesso e zonas fixas onde é mais difícil defender [Imagem cedida por Rui Andrade]

4. Remate com a Ponta do Aléu

Com a finalidade de aumentar a velocidade do remate e atendendo aos pontos atrás referidos, estuda-se neste trabalho o remate com a ponta do aléu.

Segundo alguns praticantes da modalidade este tipo de remate permite lançar a bola de hóquei a velocidades maiores. Como se pode analisar na Figura 40 para se efetuar o remate com a ponta do aléu, o cabo tem que fazer um maior ângulo com o solo, para que o aléu bata com uma secção maior na bola. Deve referir-se que uma das marcas de stiques já comercializa alguns modelos com uma maior abertura da pá, como já foi dito atrás.



Figura 40 - Posição da bola no meio do aléu e na ponta do aléu

Se se rematar com a um ângulo parecido com o do remate normal, a ponta do aléu fica ligeiramente acima do solo, como se vê na Figura 41.



Figura 41 - Remate com a ponta do aléu com um ângulo entre o cabo e o solo parecido com o remate normal

Como atrás referido, este remate pode permitir maiores tempos de contacto, aumentando assim a energia transferida. Este remate é efetuado com a ponta do aléu, e segundo os atletas que o realizam é necessário bloquear ao máximo as articulações dos pulsos para que o remate possa ser feito de forma mais precisa. No entanto é impossível bloquear completamente os pulsos e o movimento de *snap* destes permite com que o movimento da pá do aléu acompanhe a bola, aumentando assim o tempo de contacto. Os pulsos funcionam como molas, que alteram a sua disposição e que depois voltam à sua posição original permitindo assim o movimento de *snap* atrás referido. Um dos objetivos deste trabalho seria confirmar experimentalmente a veracidade deste conceito de remate.

Deve lembrar-se que parte da energia do remate é dissipada sob a forma de calor, aquecimento da bola e do aléu, sob a forma de vibrações do stique e ainda sob a forma de ondas acústicas. Este remate é mais silencioso que o remate onde a bola bate no centro do aléu. Este aspeto, notado por vários atletas da modalidade permite que menos energia seja dissipada sob a forma de som e aumenta o fator surpresa para os guarda-redes não lhe permitindo agir por antecipação.

Segundo os atletas que executam este remate, o controlo da bola também é mais difícil, sendo aquele em que se notam mais dificuldades em colocar a bola no ponto desejado.

Será também de esperar que as tensões no cabo do aléu sejam maiores, devido à presença de um momento torsor que aumenta com o aumento da distância entre o ponto onde a bola bate o aléu e o ponto tangente aos apoios. Assim sendo, o efeito elástico que se encontra no cabo também pode ser encontrado na pá, levando a um incremento da “*rocker phase*”, levando a um aumento da quantidade de energia potencial elástica armazenada no aléu e posteriormente transferida para a bola.

5. Projeto de Construção do Mecanismo de Ensaio do Remate.

Para se proceder ao estudo do remate é essencial desenvolver um mecanismo para poder efetua-lo, primeiro experimentalmente, e posteriormente através de modelos matemáticos. A vantagem do mecanismo é a repetição do remate nas mesmas condições inúmeras vezes, algo impossível de obter por um atleta, onde esta componente repetitiva é impossível. Como já foi dito atrás o movimento do atleta quando efetua um remate é pendular. O autor José Ferreira usou uma máquina de lançar pratos que adaptou para simular mecanicamente o este efeito. A este mecanismo apenas se adicionou uma adaptação para segurar o aléu.[4] Para a análise do remate com a ponta da pá do aléu é necessário libertar o grau de liberdade de rotação do aléu, bem como adicionar uma mola no extremo no cabo deste para simular o efeito dos pulsos que, como já foi dito atrás, não estão completamente bloqueados, funcionando antes como um elemento elástico. Para isso foram desenvolvidos alguns estudos para permitir simular este mecanismo.

5.1 Primeira Solução Proposta

No primeiro estudo realizado houve a tentativa de unir os dois movimentos: o movimento pendular do remate com o movimento de torção do aléu nas mãos do atleta. Foi então desenvolvido um mecanismo com base na solução proposta por José Ferreira, utilizando uma máquina de lançar pratos, representada na Figura 42. A esta solução procurou-se associar um mecanismo para realizar a torção do stique.



Figura 42 - Máquina de lançar pratos ajustável para o remate de hóquei em patins[4]

Quanto à parte que permite a rotação do aléu foi adicionada projetando um sistema com base em rolamentos colocados entre um tubo interior e um tubo exterior.

Um dos aspetos necessários para a simulação do movimento que se pretendia era que os apoios tivessem 100mm de largura, para simular o punho do atleta e separados por 400mm para simular a posição das mãos na pega do atleta.[4]

Na Figura 43 e na Figura 44 mostra-se a primeira solução proposta pelo autor para permitir gerar a rotação necessária.

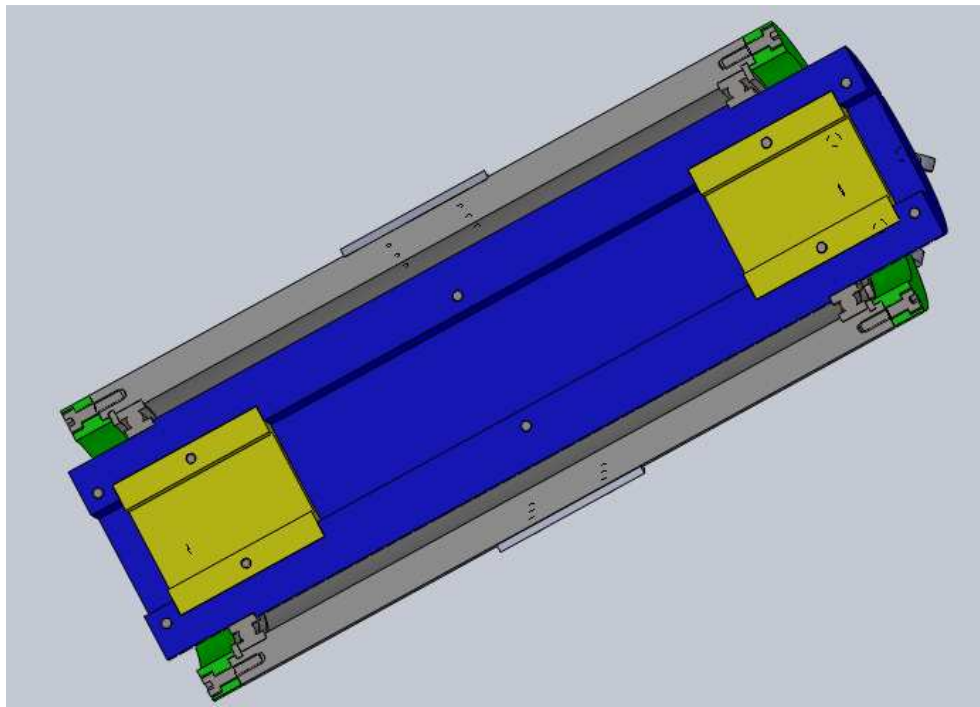


Figura 43 - Projeto da parte de rotação do 1ª solução proposta

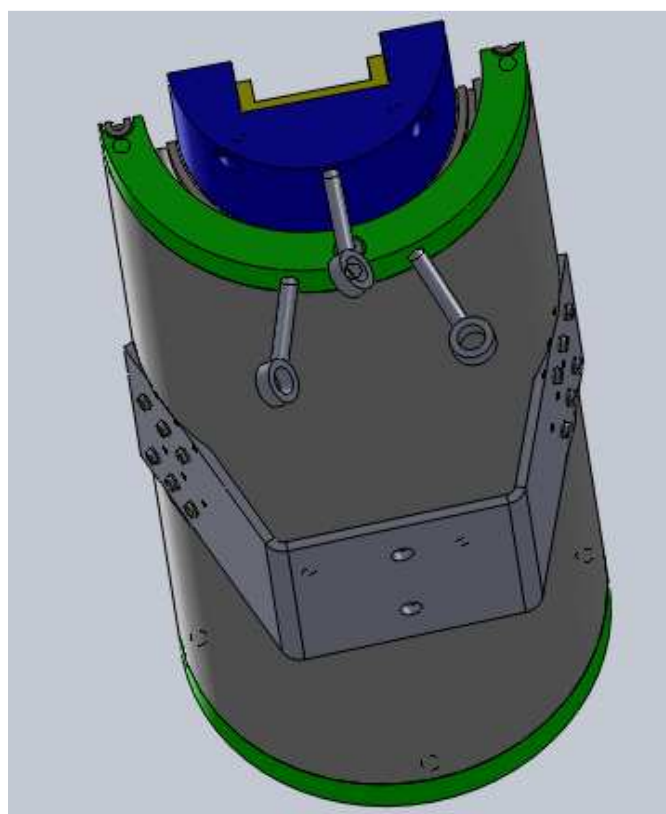


Figura 44 - Projeto da parte de rotação da 1ª solução proposta

As peças a amarelo seriam os apoios onde o aléu seria encastrado e o tubo azul rodaria por dentro do tubo exterior. Na Figura 44 mostram-se os parafusos com olhal onde se iria colocar as molas e a chapa quinada com os buracos para parafusos onde esta peça ia ser fixada ao mecanismo de lançar pratos.

Em anexo encontra-se a vista explodida do projeto do componente proposto na primeira solução.

Este projeto foi abandonado devido à grande massa dos seus componentes o que obrigaria a utilizar molas com grande capacidade de carga caso se pretendesse simular remates a elevada velocidade. O mecanismo que foi concebido para permitir a rotação do aléu tinha mais de 10 vezes o peso do stique. Além disso este mecanismo sairia muito dispendioso, devido à necessidade de maquinar a grande maioria das peças e de possuir rolamentos de grandes dimensões (diâmetro interior de 130mm).

5.2 Segunda Solução Proposta

Para este segundo mecanismo foi feita uma abordagem diferente. Foi pensado para ser fixado na horizontal e para simular o impacto com a bola, com o stique em repouso. Neste caso o mecanismo foi fixado em cima de uma mesa e posteriormente a bola foi deixada cair por gravidade em cima do stique.

Foi então projetado um mecanismo de baixo custo, com peso reduzido e facilidade de acesso às peças.

O mecanismo resultante da segunda solução proposta encontra-se na Figura 45.

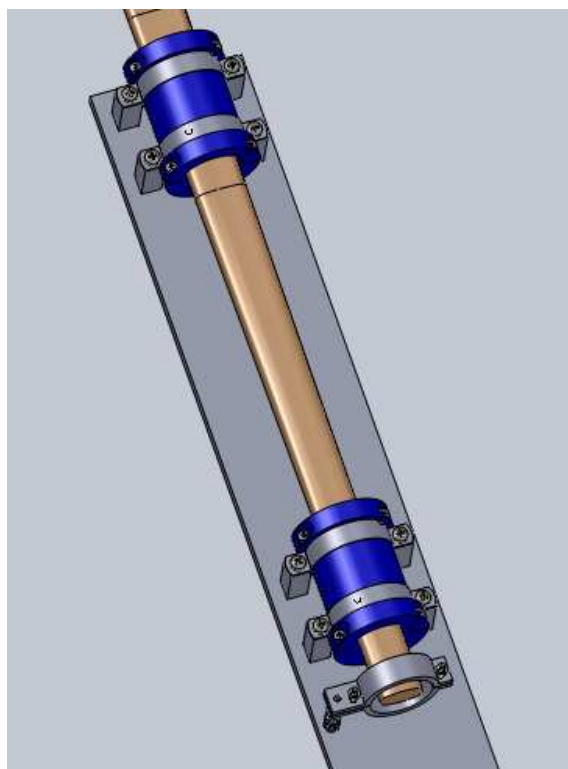


Figura 45 - Segunda solução para o mecanismo

Este mecanismo baseia-se na utilização de uma peça de nylon (a azul no desenho) que rodaria livremente dentro de um suporte em alumínio (um vulgar suporte para tubagens). Neste caso o aléu seria fixo ao suporte em nylon através de pequenas borrachas, colocadas no interior do suporte. Na ponta do cabo do aléu foi pensado colocar-se um suporte em alumínio que seguraria o aléu e que posteriormente seria ligado a uma mola que estava encastrada no suporte metálico. O suporte em nylon teria as condições descritas no projeto anterior para os apoios do aléu ao mecanismo.

A vista explodida deste mecanismo encontra-se em anexo.

Esta solução foi também abandonada em favor de uma terceira proposta de mais fácil execução

5.3 Terceira Solução Proposta

Depois de várias consultas a empresas de serralharia mecânica, optou-se por adquirir duas chumaceiras de grande diâmetro já enviadas para sucata. Estes dois componentes foram parcialmente recuperados por forma a permitirem realizar o movimento de rotação necessário. Na Figura 46 mostram-se as duas chumaceiras que, embora não sendo iguais, serviriam para realizar o movimento pretendido.



Figura 46 - Chumaceiras utilizadas no mecanismo para simular o remate

O par de chumaceiras foi fixado ao um placa de alumínio com dimensões que permitiram acomodar os apoios distanciados de acordo com o comprimento de pega que se definiu. Na Figura 47 mostra-se um desenho em CAD desta solução.

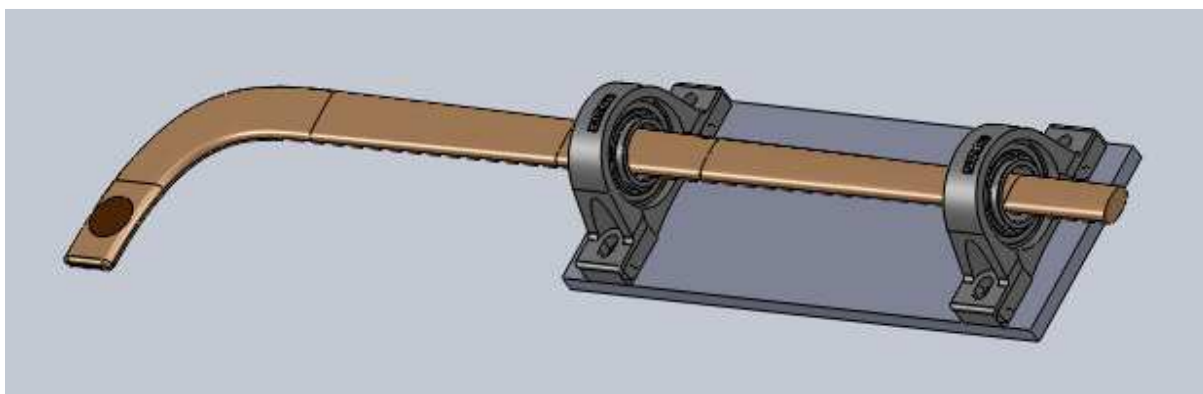


Figura 47 - Terceiro projeto do mecanismo

Estudo dos Mecanismos de Transferência de Energia do Aléu para a Bola no Remate de Hóquei em Patins

O terceiro mecanismo proposto foi construído e amarrado no tampo de uma mesa ótica utilizando as furações de que esta dispõe. Quanto ao elemento que permite ligar mola utilizou-se um grampo diretamente apertado no cabo do aléu e que se pode ver na Figura 48.

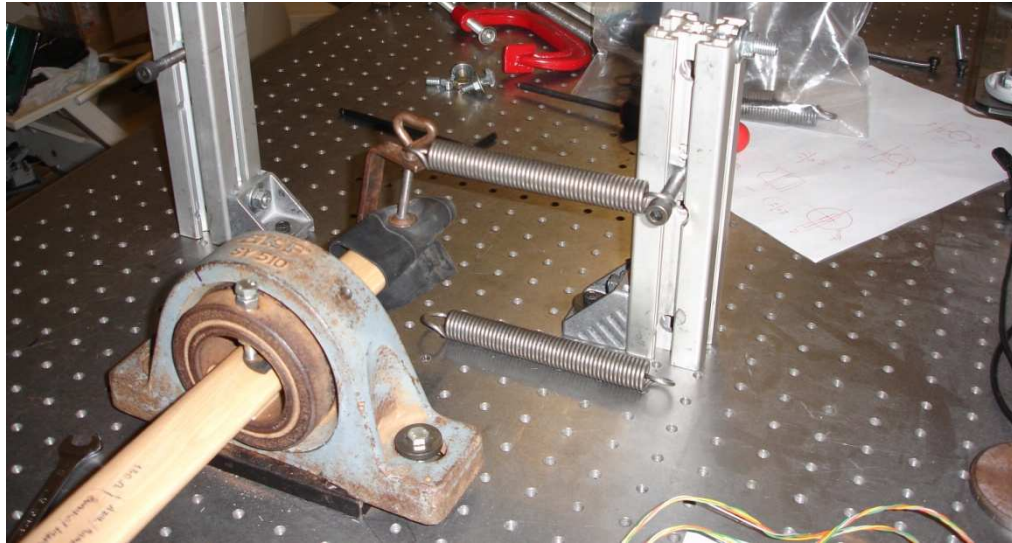


Figura 48 - Forma de ancorar a mola no cabo do aléu

6. Material e Métodos

6.1 Extensometria Elétrica

O princípio de funcionamento dos extensómetros eléctricos baseia-se numa característica fundamental dos condutores eléctricos, descoberta por Lord Kelvin em 1856, segundo a qual a resistência eléctrica dos condutores varia em função da tensão ou deformação a que o condutor eléctrico está sujeito. Esta é uma das técnicas mais poderosas e mais precisas de análise experimental de tensões e permite aceder às deformações nas superfícies dos materiais. Esta técnica é aplicável nas mais diversas condições de trabalho, estáticas ou dinâmicas, praticamente sem qualquer tipo de interferência com o funcionamento da estrutura ou componente a ensaiar. Além disso, atendendo a que a resposta do extensómetro se traduz num sinal eléctrico, é extremamente fácil o seu tratamento através de operações de amplificação, adição, processamento digital, etc.[35]

O extensómetro utilizado apresenta dois filamentos dispostos a 0° e a 90°. A resistência do extensómetro utilizado é de 120 ohm.

6.2 SolidWorks® (v.2010)

O SolidWorks® é um programa de CAD 3D (computer-aided design). Este “software” baseia-se na utilização de computação paramétrica, criando formas tridimensionais a partir de forma geométricas elementares. No ambiente do programa, a criação de um sólido ou superfície tipicamente começa com a definição de uma forma exterior num esboço 2D ou 3D.

Um dos programas integrado no SolidWorks é o SolidWorks Simulation que é uma ferramenta de validação geométrica que permite simular o comportamento estrutural de elementos projetados quando são sujeitos a forças e pressões com condições de fronteira conhecidas.[42]

6.3 Matlab® R2011a

O Matlab® é um programa desenvolvido para cálculo científico, permitindo a realização de algoritmos numéricos sobre matrizes com o mínimo de programação. Além disso, no ambiente Matlab é possível a criação e manipulação de matrizes sem a necessidade de dimensionamento prévio e a manipulação das variáveis pode ser realizada de forma interativa. O termo “Matlab” tem origem na conjugação dos termos “MATrix” e “LABoratory”. [43]

6.4 Kinovea®

O Kinovea® é um software de análise de vídeo dedicado ao desporto. Os seus utilizadores alvo são os treinadores, atletas e profissionais médicos, sempre que seja necessário analisar o movimento para realizar diagnóstico. Também pode ser útil em estudos ergonómicos e de animação.[44]

6.5 Camara de Alta Velocidade

Uma camara de alta velocidade é uma câmara de vídeo de registo assíncrono. Este dispositivo é utilizado para gravar filmes com elevadas taxas de aquisição. Estes filmes podem depois ser reproduzidos à velocidade normal para realizar estudos de fenômenos transientes de elevada velocidade.

Uma gravação de cinema convencional é filmada e reproduzida a 24 imagens por segundo. As câmaras de vídeo de alta velocidade podem filmar até 250.000 imagens por As camaras mais rápidas são usadas geralmente em pesquisas científicas, testes e avaliações militares e em indústrias. Um exemplo de aplicação industrial é o “*crash test*”, que melhor documenta o impacto e o que acontece a um automóvel e aos passageiros durante este.

Um problema com a utilização destas consiste na necessidade de uma grande potência de iluminação, para conseguir realizar o filme.[45] Deve lembrar-se que sendo os sensores de imagens sistemas integradores de luz que dependem da energia acumulada, menores tempos de exposição, implicam menores tempos de integração e, conseqüentemente, exigem mais potência de iluminação.

A camara utilizada neste trabalho foi a Cassio EX-FH25.

7. Procedimento Experimental

Para poder cumprir os objetivos traçados para este trabalho foram concebidas algumas medições experimentais utilizando exemplares de stiques vulgarmente utilizados na prática desta modalidade. Por conveniência foram utilizados dois aléus já existentes no LOME e utilizados noutros trabalhos de investigação.

Como atualmente se recorre com frequência a análises estruturais combinadas utilizando técnicas experimentais e cálculo numérico foi decidido recorrer a essa metodologia. Um método bastante utilizado para avaliar a performance dos equipamentos nos desportos de impacto consiste na análise de modelos de elementos finitos. A criação de modelos numéricos, simulando montagens experimentais permite calibrar devidamente os modelos numéricos através de medições realizadas experimentalmente o que permite depois simular com rigor o comportamento dos elementos em estudo.[46]

7.1 Calibração dos Modelos

Os modelos que vão ser calibrados e posteriormente analisados são o Jet Compac e o Jet Special Force, já mostrados na Figura 32.

Geometria

Aproveitando o trabalho realizado por José Ferreira, onde os aléus JET Compac e JET Special Force foram desenhados, foi feita uma calibração do momento de inércia, da densidade do material e da posição do centro de massa. Estas propriedades já foram calculadas experimentalmente, sendo assim estes valores aproveitados para o presente trabalho.[4]

Os resultados finais obtidos após calibração foram:

Tabela 7 - Relação entre os valores experimentais e os valores do modelo.

	JET Compac			JET Special Force		
	Experimental[4]	Modelo	Erro (%)	Experimental[4]	Modelo	Erro (%)
I [$kg \cdot cm^2$]	662,01±0,09	659,73	0,34	611,58±0.19	607,40	0.68
Centro de Massa [mm]	578	572,5	0.95	568	568,1	0.02
M [kg]	0,545	0,545	0	0,523	0,523	0

Módulo de Young

Para esta calibração foi utilizada a extensometria elétrica. Foram utilizados os mesmos stiques já com os extensómetros colados a 525 mm da extremidade do cabo, num trabalho já realizado na tese de José Ferreira.[4] Este método foi usado e comprovado em pelo menos dois trabalhos.[4], [15]. Foi utilizado um extensómetro, com dois filamentos: um alinhado segundo o eixo do aléu e outro alinhado perpendicularmente a este.

Os extensómetros foram ligados ao módulo de aquisição de sinal, o qual funciona associado ao *software* de aquisição de dados LabVIEW SignalExpress, produzido pela empresa National InstrumentsTM, o módulo foi utilizado a uma frequência de aquisição de 100Hz.

Carregou-se então o aléu com quatro pesos de aproximadamente 2 kg cada. Na Tabela 8 apresenta-se os valores reais dos diferentes pesos, que foi medida através de uma balança da marca Worten com capacidade máxima de 3 Kg e com uma sensibilidade de 0,001 kg.

Sendo F a força, m a massa e g a aceleração da gravidade $=9,8m/s^2$.

Tabela 8 - Valor das massas utilizadas na calibração.

	Massa (Kg)	Somatório das massas (Kg)	Força aplicada pelo somatório das massas (N)
1	1,993	1,993	19,5314
2	1,999	3,992	39,1216
3	2,004	5,996	58,7608
4	2,001	7,997	78,3706



Figura 49 - Pesos usados na experiência da calibração

As condições de fronteira são as seguintes:

- Encastramento na ponta do cabo;
- Encastramento a 400 mm da ponta do cabo.

Estas condições de fixação podem ser visualizadas na Figura 50.

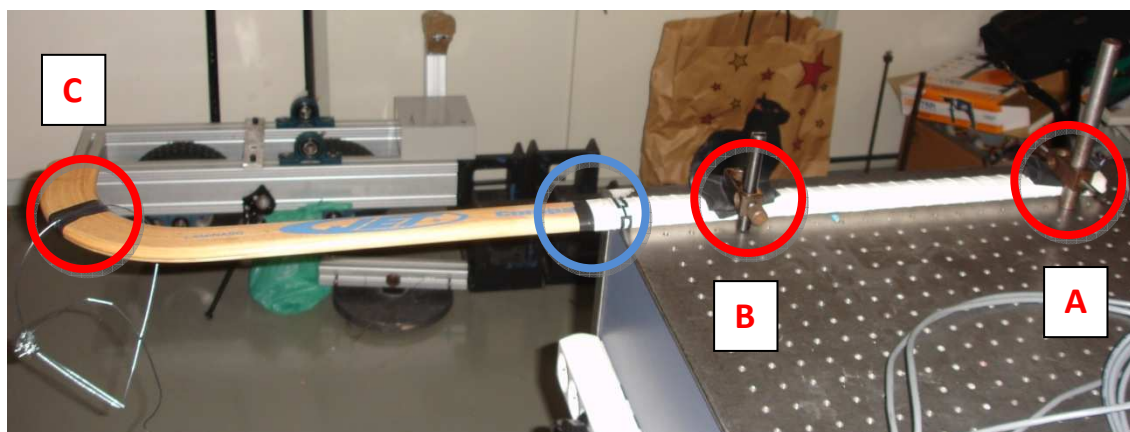


Figura 50 - Condições de fronteira da experiência, encastramento em A e B, e localização onde as cargas vão ser colocadas no modelo numérico, arame em C. Neste caso o aléu analisado é o Jet Compac. A azul encontra-se a localização do extensômetro.

Os pesos foram colocados na sequência acima mostrada e de forma temporalmente espaçada para permitir a estabilização do sinal de aquisição. Após o carregamento do aléu procedeu-se ao seu descarregamento de forma sequencial. Na Figura 51 mostra-se o aléu Jet Compac carregado com os quatro pesos.

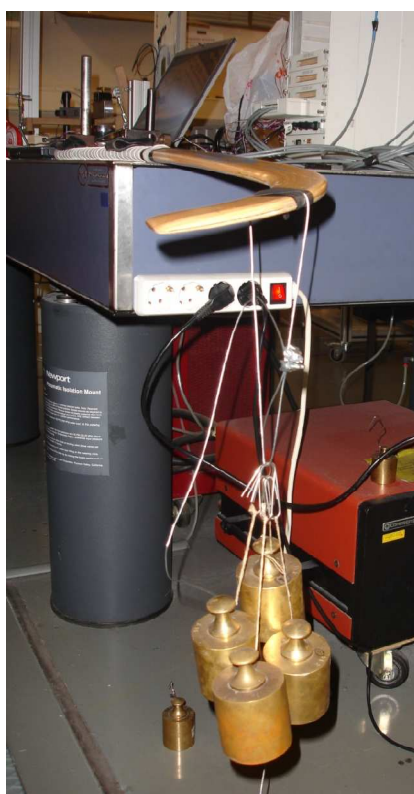


Figura 51 - Aléu carregado com os quatro pesos. Note-se a deformação que o aléu sofre quando assim carregado

Nas Figura 52 até à Figura 55 mostram-se os sinais obtidos para a deformação na região onde está colado o extensômetro. Cada patamar representa a adição de um novo peso. Pela análise dos gráficos é possível ver que, quer na adição dos pesos, quer na remoção destes, os patamares com o mesmo somatório de massas têm a mesma deformação, o que revela a boa qualidade das medições e a estabilidade dos extensômetros.

Para medir a deformação devido à flexão foi utilizado um extensómetro com os filamentos alinhados com o eixo do cabo do aléu. Estas deformações são ε_l e aqui são denominadas de deformação longitudinais. As outras deformações medidas ε_t são designadas por deformações transversais.

Jet Compac

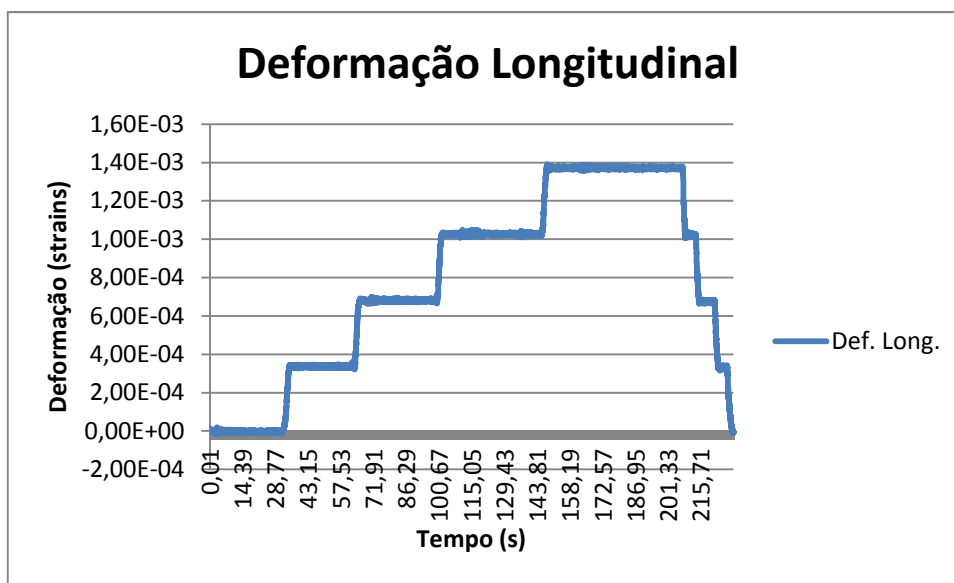


Figura 52 - Curva de calibração da deformação longitudinal no aléu JET Compac.

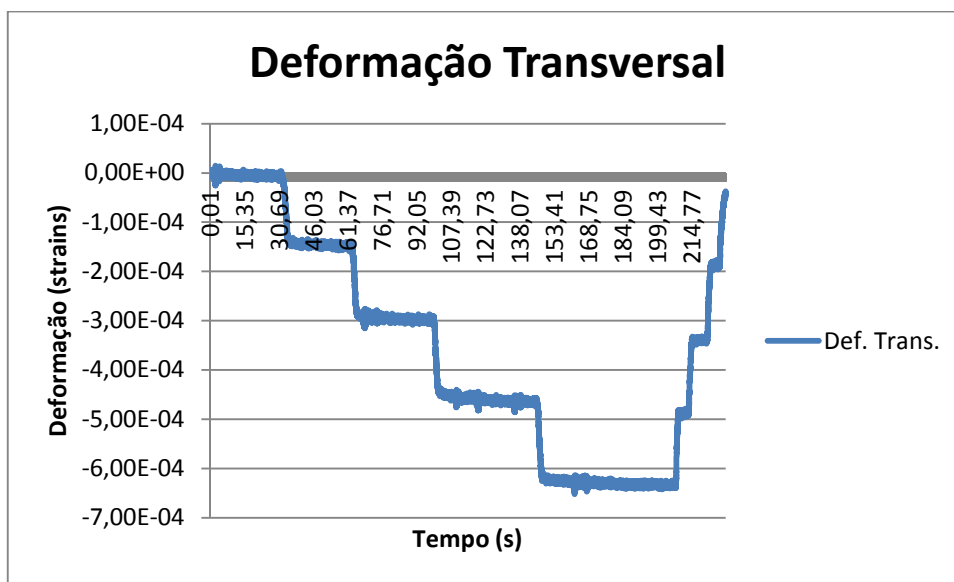


Figura 53 - Curva de calibração da deformação transversal no aléu JET Compac.

Jet Special Force

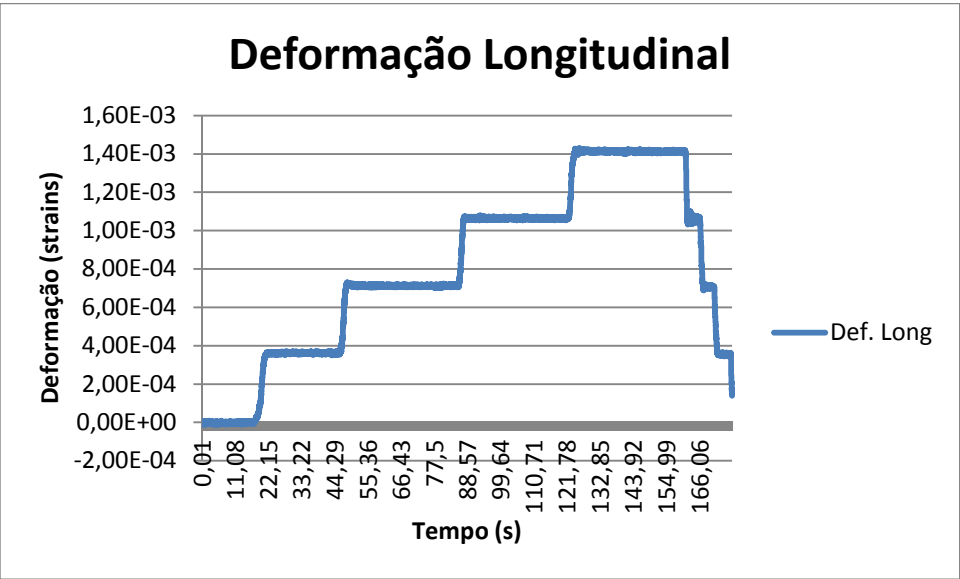


Figura 54 - Curva de calibração da deformação longitudinal no aléu JET Special Force.

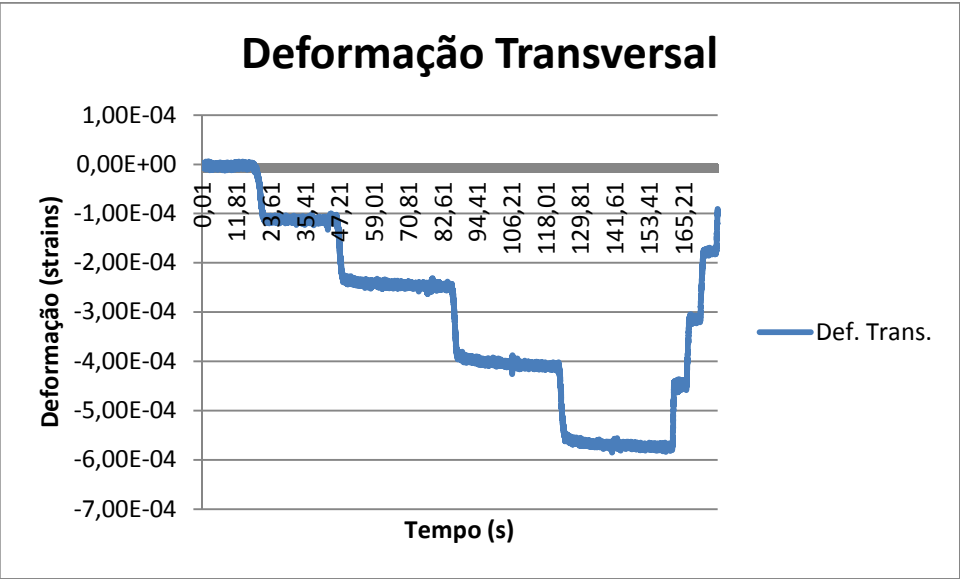


Figura 55 - Reta de calibração da deformação transversal no aléu JET Special Force.

Com estes valores é então possível fazer a reta de calibração para cada um dos dois aléus e para os dois casos.

Jet Compac

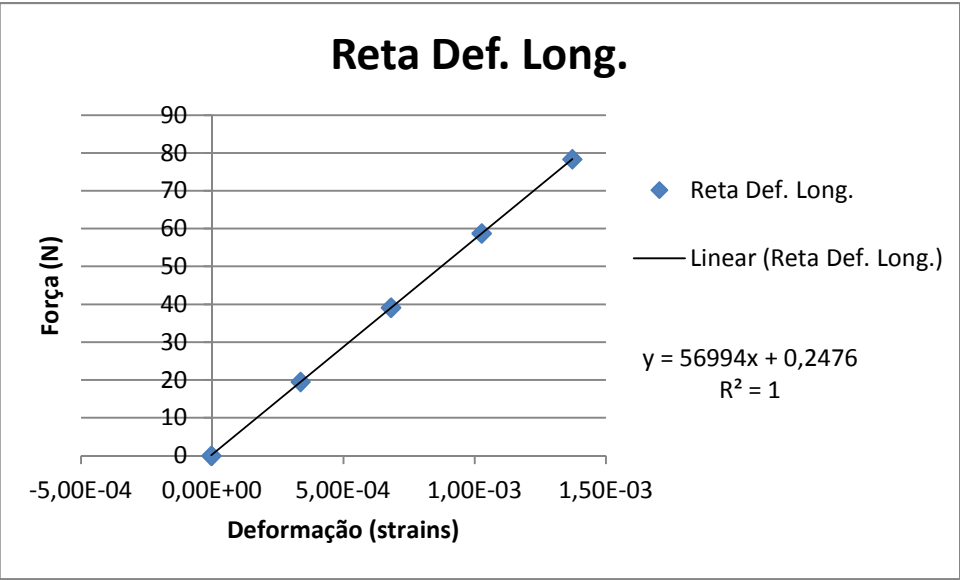


Figura 56 - Reta de calibração para a deformação longitudinal para o Jet Compac

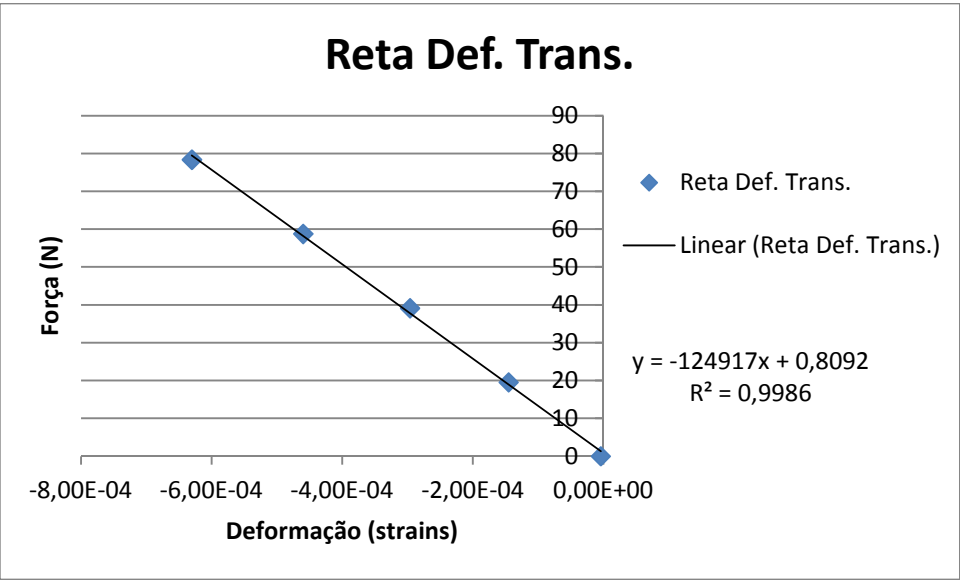


Figura 57 - Reta de calibração da deformação transversal para o Jet Compac

Jet Special Force

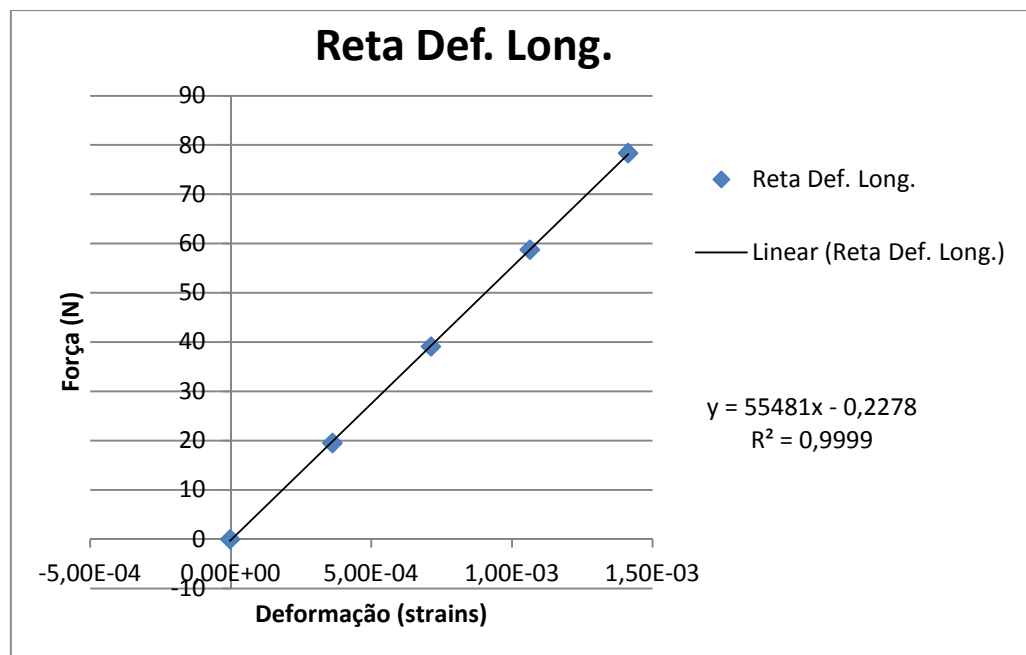


Figura 58 - Reta de calibração da deformação transversal para o Jet Compac

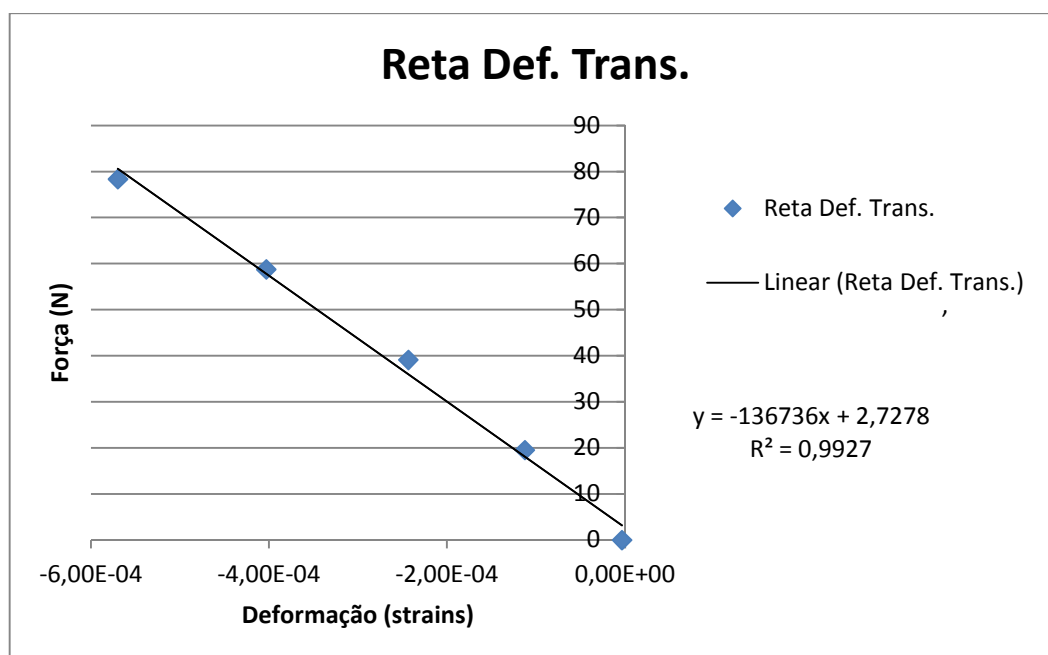


Figura 59 - Reta de calibração da deformação transversal para o Jet Special Force

Com estes valores foi então possível calibrar os modelos de forma a obter-se os resultados numéricos mais aproximados da realidade.

Para tal usou-se as seguintes condições fronteira:

- Encastramento na ponta do cabo do aléu com o comprimento de 100mm, para simular o primeiro encastramento;

- Impedimento de deslocamentos segundo a direção perpendicular ao cabo, de uma face do aléu a 400mm da parte encastrada acima mencionada, para permitir a rotação do aléu neste apoio;
- Força aplicada na linha formada pelo arame que prendia os pesos, como visto na figura seguinte.

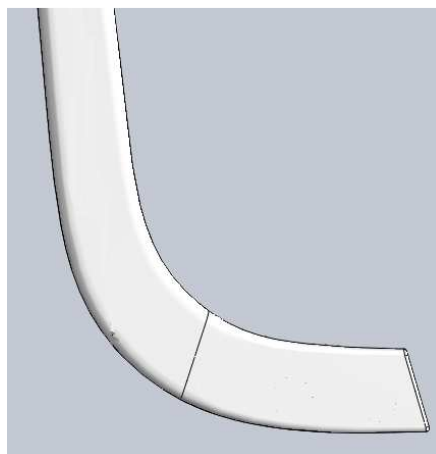


Figura 60 - Linha onde a força é aplicada durante a calibração. Neste caso o aléu é o Jet Special Force

No final foram ajustados os seguintes módulos de Young para os dois aléus.

Tabela 9 - Módulo de Young para o modelo após a segunda calibração

	$E \text{ (N/m}^2\text{)}$
JET Compac	24×10^9
JET Special Force	$16,8 \times 10^9$

Com estes módulos as deformações no modelo numérico correspondentes às cargas aplicadas na realidade foram os seguintes:

Tabela 10 - Erros na deformação ε_l após a calibração no aléu Jet Compac

Força (N)	Deformação calculada pelo MEF (strains)	Deformação experimental (strains)	Erro (%)
19,5314	3,41E-04	0,000337	-1,33354
39,1216	6,84E-04	0,000681	-0,35534
58,7608	1,03E-03	0,001027	0,050851
78,3706	1,37E-03	0,001372	0,411332

Tabela 11 - Erros na deformação ε_l após a calibração no aléu Jet Special Force

Força (N)	Deformação calculada pelo MEF (strains)	Deformação experimental (strains)	Erro (%)
19,5314	3,56E-04	0,000362	-1,57015
39,1216	7,13E-04	0,000712	0,052988
58,7608	1,07E-03	0,001064	0,456329
78,3706	1,42E-03	0,001413	0,782551

Estes valores foram os mais aproximados possíveis pois quanto maior for o módulo de Young menor será a deformação sofrida pelo aléu. Sendo assim, ao alterar o módulo de Young aproximamo-nos dos valores de deformação para uma determinada carga mas afastamo-nos do valor da deformação para outras cargas. É assim necessário procurar um equilíbrio entre estes valores.

Pode ver-se que estes valores se afastam em muito dos valores obtidos na calibração tendo em conta a rigidez. Sendo que este método de calibração é mais fiável que o primeiro, podemos afirmar que o método de calibração através da rigidez não será o mais correto. Outros fatores podem contribuir para esta disparidade, nomeadamente a definição da colocação do extensómetro e a média que este realiza ao medir a deformação em toda a sua área.

Outro fator interessante é que, embora haja a informação que ambos os aléus são feitos de madeira de freixo[4], os dois aléus apresentam propriedades mecânicas diferentes desta, nomeadamente o módulo de Young. Este é superior aos apresentados pela madeira de freixo, que se localiza entre os 7200 e os 12000 MPa, segundo [47]. Este fato pode dever-se ao processo de fabrico do aléu e a tratamentos sofridos pela madeira com a possível adição de algumas resinas aquando da execução deste que lhe alterem as propriedades mecânicas. Um fator decisivo é o fato dos aléus serem formados por um conjunto de ripas de madeira direcionadas longitudinalmente ao longo do comprimento do aléu. Além disso, a presença de uma lâmina de material sintético entre as duas metades da pá também pode alterar as propriedades mecânicas.

7.2 Análise da Precisão do Remate de Ponta

Na sequência dos objetivos traçados inicialmente era necessário avaliar se a opção por uma estratégia diferente para execução remate não comprometia a direccionalidade deste. Para isso foram executados dois protocolos experimentais para a análise da precisão de remate devido ao fato de o primeiro se mostrar inconclusivo. No entanto serão apresentados neste trabalho os dois protocolos. Ambos foram baseados na experiência feita por Paquette para medir a precisão de um remate em hóquei no gelo. Neste estudo Paquette pediu a vinte e cinco indivíduos masculinos para efetuar o *wrist shot* de forma a acertar num alvo marcado na baliza, como o mostrado na Figura 61.



Figura 61 - Alvos na experiência de Paquette[36]

A posição do disco foi definida como sendo a quatro metros do alvo. A ordem dos alvos a que os atletas rematavam foi aleatória enquanto foi pedido aos atletas para efetuar 10 remates certos num máximo de 20 tentativas.

Esta experiência foi realizada com marcadores nos *sticks* dos atletas para ver o movimento do *stick* durante a execução do *wrist shot* e no disco para saber o movimento deste entre o início da execução do remate e o momento em que a bola atinge o alvo e também para determinar o ponto em que o disco acertou no alvo ou no plano em que o alvo está inserido. Depois desta experiência foi feita a análise para saber a distância de cada um destes pontos ao ponto central dos alvos, para assim obter a dispersão dos remates.[36] Este trabalho serviu de inspiração para a definição das experiências que foram realizadas no âmbito desta tese.

7.2.1 Primeiro Protocolo da Análise da Precisão

Foi pedido a uma amostra de seis atletas masculinos de uma equipa amadora da 2ª Divisão Portuguesa de Hóquei em Patins com $23 \pm 1,15$ anos, $1,8 \pm 0,04$ m de altura e peso de $76 \pm 10,09$ Kg sem qualquer lesão muscular, que rematassem para um dos ângulos superiores da baliza através de remate batido do seu lado natural. Os alvos colocados na baliza eram retangulares com aproximadamente 400x250mm. Na Figura 62 apresenta-se a colocação dos alvos nos cantos superiores da baliza tal como foi utilizado neste teste.



Figura 62 - Baliza com os alvos nos cantos superiores.

A escolha dos ângulos superiores teve como objetivo dificultar a precisão do remate e obrigar os atletas a realizar o remate com alguma força para que a bola levantasse do solo em direção ao alvo escolhido.

A amostra consistiu em 4 atletas destros e 2 esquerdinos e todos eles remataram usando o aléu com que normalmente treinam e jogam. Em todos os casos o aléu utilizado foi o JET Special Force.

O número total de remates foi definido em três remates certos num máximo de seis tentativas e estes foram efetuados da marca de penalty.

Tanto os atletas esquerdinos como os destros optaram por rematar para o ângulo contrário à posição do aléu em relação ao corpo, com o objetivo de obterem melhores resultados.

Foi pedido aos atletas para rematarem primeiro da forma que desejassem para atingir o alvo e posteriormente que rematassem com a ponta do aléu, apontando para o mesmo alvo. Foi então apontado se os atletas acertavam ou falhavam o alvo.

Todos os atletas estavam equipados com o equipamento completo que usam nos jogos de hóquei em patins como: patins, caneleiras, joelheiras, luvas e mais algum equipamento que o atleta decida usar durante os treinos.

Em anexo encontra-se o protocolo desta experiência

A análise do remate reverso foi cancelada porque se optou-se por alterar o protocolo na tentativa de obter resultados mais conclusivos.

7.2.2 Segundo Protocolo da Análise da Precisão

Após analisar os resultados do primeiro protocolo foi decidido alterar o protocolo experimental para se obter melhores resultados. Apresenta-se então o segundo protocolo.

Foi pedido a uma amostra de sete atletas masculinos de uma equipa amadora da 2ª Divisão Portuguesa de Hóquei em Patins com $23 \pm 1,15$ anos, $1,78 \pm 0,05$ m de altura e peso de $75 \pm 9,29$ Kg sem qualquer lesão muscular, que rematassem para o ângulo superior da baliza contrário à posição do aléu com remate batido do seu lado natural. O alvo era retangular com aproximadamente 400x250mm, como se pode ver na Figura 62.

A escolha dos ângulos superiores teve como objetivo dificultar a precisão do remate e fazer com que os atletas realizassem o remate com alguma força para que a bola levantasse do solo em direção ao alvo escolhido.

A amostra consistiu em 5 atletas destros e 2 esquerdinos e todos os atletas remataram usando o aléu com que normalmente treinam e jogam. Em todos os casos o aléu utilizado foi o JET Special Force. No caso dos atletas esquerdinos os resultados foram transformados para que os pontos aparecessem no alvo do lado direito, para uma melhor compreensão dos resultados.

O número total de remates foi definido em dez para cada tipo de remate e estes foram efetuados da marca de penalty.

Foi pedido aos atletas para rematarem primeiro da forma que desejassem para atingir o alvo e que depois rematassem com a ponta do aléu, apontando para o mesmo alvo. Foi então marcado o ponto onde eles acertaram, na figura seguinte.

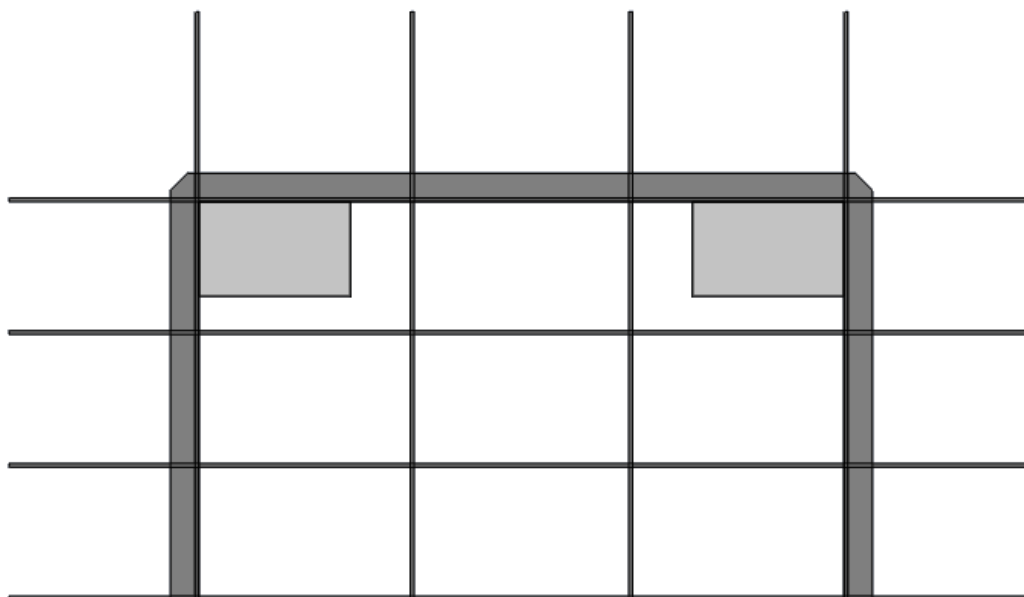


Figura 63 - Figura onde foi colocada os pontos onde os atletas acertaram.

Todos os atletas estavam equipados com o equipamento completo que usam nos jogos de hóquei em patins como: patins, caneleiras, joalheiras, luvas e mais algum equipamento que o atleta decida usar durante os treinos.

Depois de visualizado o remate foram colocados os pontos onde a bola cruzou o plano coincidente com a linha de golo.

Em anexo encontra-se o protocolo desta experiência.

7.3 Análise do Remate com a Ponta do Aléu

De forma a perceber o que acontece durante o contacto entre o aléu e a bola no remate de ponta foi montado um mecanismo que permite simular os dois tipos remates para descobrir as diferenças entre estes. O mecanismo encontra-se no capítulo 5.3.

Esta experiência também permitirá medir o tempo de contacto dos dois remates, bem como o ângulo de saída da bola do aléu.

Apesar de muitos esforços para obter o mecanismo que simulasse o movimento do corpo do atleta durante o remate, não foi possível obtê-lo havendo então necessidade de se proceder a algumas alterações para ser possível tal experiência.

Depois de vários projetos e várias alterações optou-se por usar duas chumaceiras para simular os punhos do atleta na pega do aléu. Embora segundo José Ferreira[4] sugira que os apoios devem de ter 100mm e devem estar distanciados de 400mm, o tamanho dos apoios nesta experiência estiveram condicionados às dimensões das chumaceiras disponíveis que não eram iguais. Sendo assim, os apoios tiveram os seguintes parâmetros:

- 1º Apoio Diâmetro interior – 50mm;
 Comprimento 50mm.
- 2º Apoio Diâmetro interior – 60mm;
 Comprimento 65mm.

Estudo dos Mecanismos de Transferência de Energia do Aléu para a Bola no Remate de Hóquei em Patins

Para simular o movimento elástico dos pulsos utilizou-se molas com a seguinte rigidez.

- Mola 1: 10200 N/m;
- Mola 2: 11900N/m.

Posteriormente procedeu-se à experiência deixando cair a bola de uma altura de 1,40 metros.

Inicialmente utilizou-se apenas a mola 1 e deixou-se cair a bola na tangente ao cabo, no meio do aléu e na ponta deste. Posteriormente acrescentou-se a segunda mola, ficando as duas molas em paralelo, e deixou-se cair a bola na ponta do aléu. Com as duas molas em paralelo a rigidez total do sistema é a soma da rigidez destas, ou seja, 22100N/m.

A experiência foi filmada com uma camara de alta velocidade para se analisar o tempo de contacto, a velocidade e o ângulo com que a bola sai do stique. Estes valores foram obtidos através da utilização do programa de análise de vídeo designado por Kinovea®.

Na Figura 64 apresenta-se o mecanismo onde esta análise foi ensaiada.



Figura 64 - Mecanismo onde foi ensaiado o remate de ponta

8. Apresentação e Discussão de Resultados

8.1 Tensões Presentes num Remate

Neste capítulo é feita a análise estática dos dois aléus com remates próximo à tangente do cabo, no meio da pá e na ponta desta, como mostram a Figura 66 e a Figura 67. O objetivo desta análise é perceber o comportamento dos aléus aos diferentes remates, analisando as tensões mais importantes neste e o deslocamento sofrido por este.

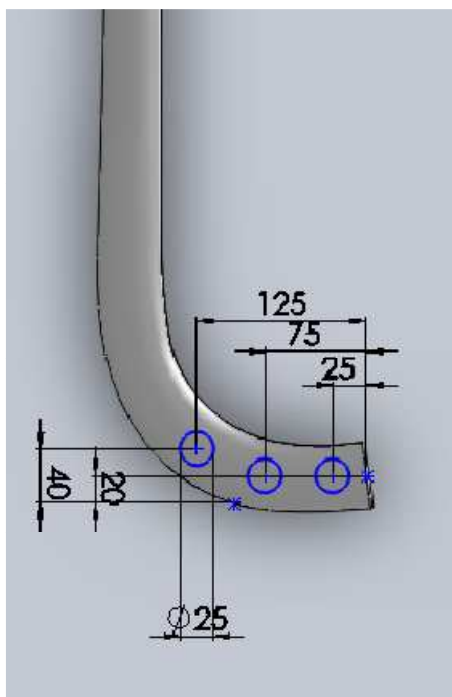


Figura 65 - Remate próximo à tangente, no meio da pá e na ponta da pá no aléu JET Compac.

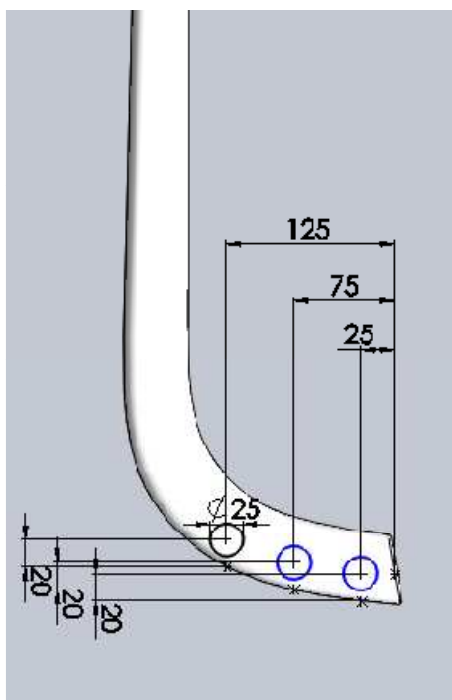


Figura 66 - Remate próximo à tangente, no meio da pá e na ponta da pá no aléu JET Special Force.

As condições de fronteira aplicadas no aléu e partindo da análise feita por José Ferreira são:[4]

- Encastramento na ponta do cabo do aléu com o comprimento de 100mm (o tamanho do pulso);
- Encastramento de uma face do aléu a 450mm da parte encastrada acima mencionada (400mm da distância entre os dois punhos mais meio punho);
- Força aplicada na área de contato entre a bola e o aléu de 10kg (97,755N).

Depois de definir as áreas de contacto entre o aléu e a bola foi feita a análise das tensões máximas de Von Mises, tensões normais máximas e tensões de corte máximas no aléu, utilizando uma carga de 10 Kg. A tensão normal e de corte podem ser vistas nas equações 26 e 27.

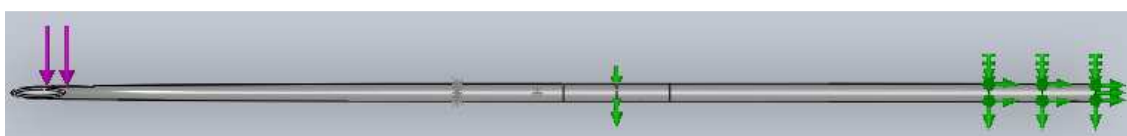


Figura 67 - Condições fronteira a verde e esforços aplicados a roxo. No meio do segundo punho foi dito que o deslocamento é nulo e no primeiro punho há encastramento.

Tabela 12 - Tensões no aléu durante os vários tipos de remate.

	Remate na tangente	Remate no meio da pá	Remate na ponta da pá
JET Compac			
Von Mises [Pa]	47.976.048	49.750.276	49.709.580
Tensões Flexão [Pa] (Tensões Normais σ_x)	64.195.696	67.228.992	67.681.616
Tensões Torção [Pa] (Tensões de Corte XY τ_{xy})	-4.307.529	-5.848.696	-8.353.301
Deslocamento máximo (mm)	38,52	42,55	44,79
JET Special Force			
Von Mises [Pa]	38.583.020	39.563.708	40.349.496
Tensões Flexão [Pa] (Tensões Normais σ_x)	46.788.944	48.713.528	49.795.056
Tensões Torção [Pa] (Tensões de Corte XY τ_{xy})	-3.663.057	-6.483.670	-9.201.420
Deslocamento máximo (mm)	47,79	52,84	57,14

Desde a Figura 68 até à Figura 70 apresenta-se a disposição das tensões no aléu Jet Special Force. Na Figura 71 apresenta-se o deslocamento máximo no mesmo aléu.

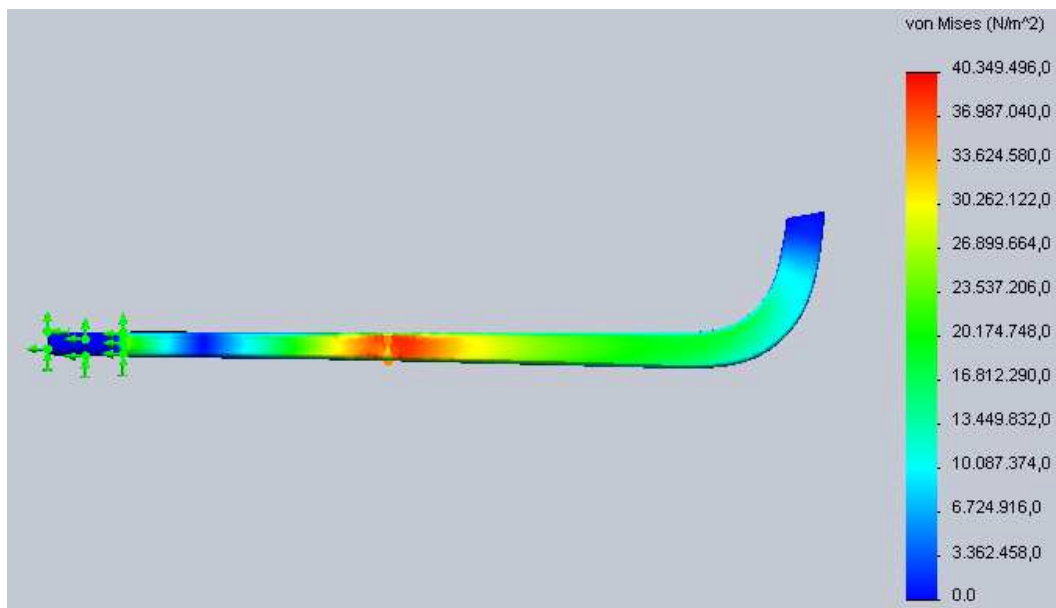


Figura 68 - Tensão de Von Mises no aléu Jet Special Force com a força a ser aplicada na ponta da pá

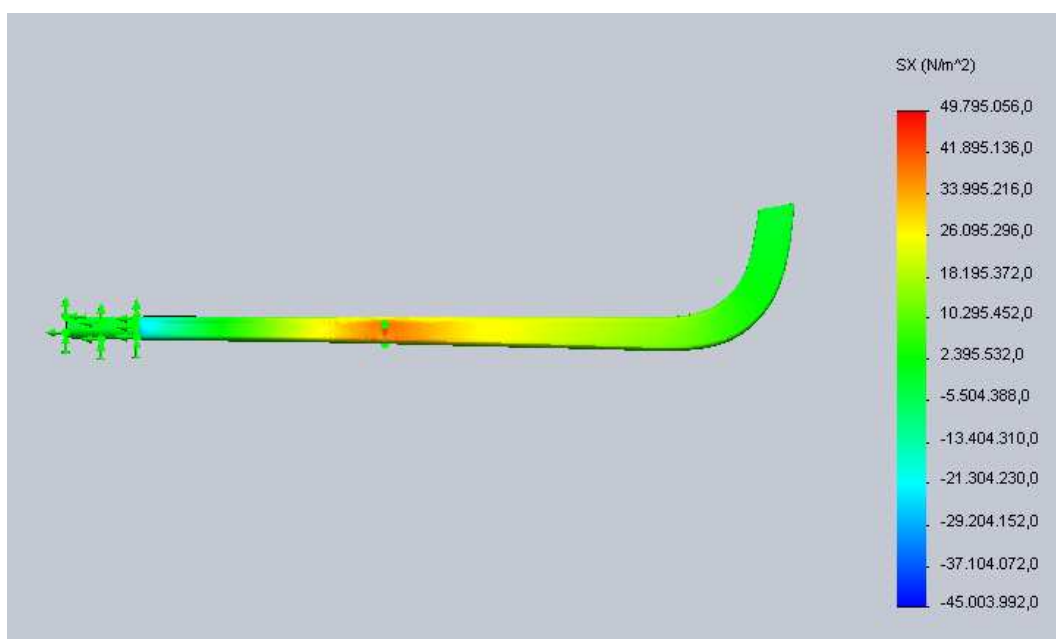


Figura 69 - σ_x no aléu Jet Special Force com a força a ser aplicada na ponta da pá

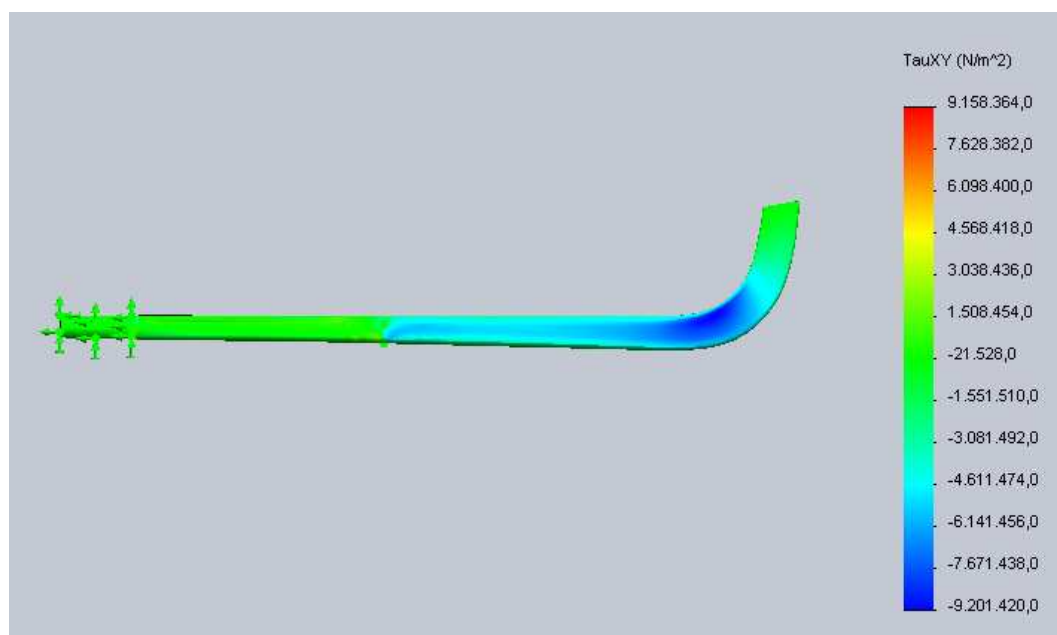


Figura 70 - τ_{xy} no aléu Jet Special Force com a força a ser aplicada na ponta da pá

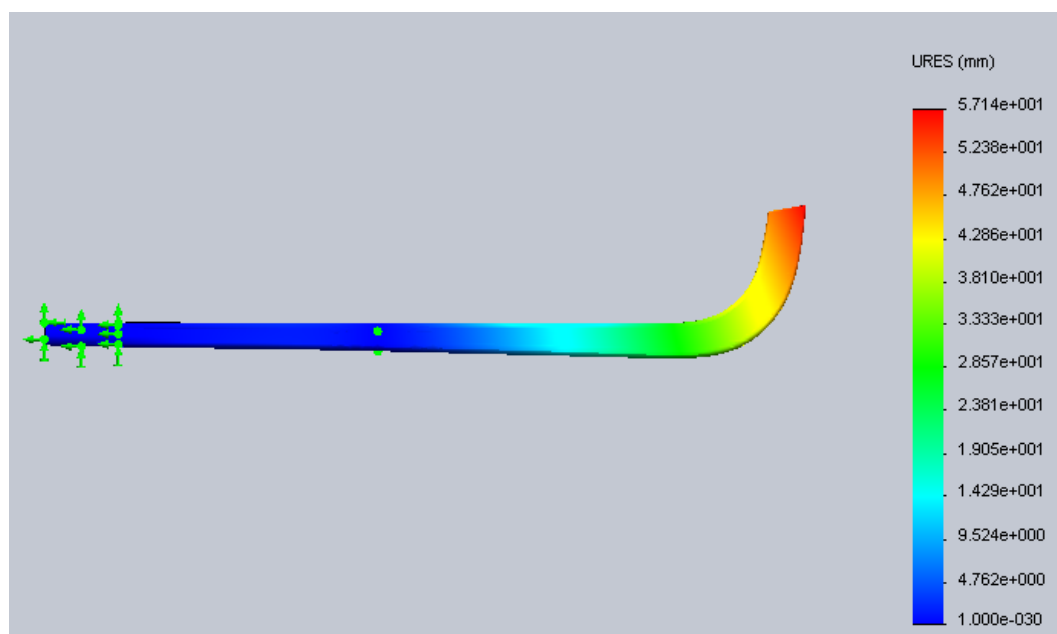


Figura 71 - Deslocamento máximo no aléu Jet Special Force com a força a ser aplicada na ponta da pá

Como se pode ver na Tabela 12, tanto no aléu JET Compac como no aléu JET Special Force, à medida que o remate vai sendo realizado cada vez mais na ponta do aléu, as tensões de Von Mises vão aumentando, a exceção das duas últimas no Jet Compac. As variações relativas das tensões de corte são maiores que as variações relativas das tensões normais. Quanto ao deslocamento máximo, este, tal como as tensões, vão aumentando à medida que o remate é executado mais na ponta do aléu. A diferença da tensão de flexão no remate no meio da pá e na ponta da pá no aléu JET Compac não deveria ocorrer, pois ambos os pontos centrais das áreas de colisão são colineares, sendo esta linha horizontal. Tal pode dever-se à geometria dos aléus. Esta geometria também pode ter influência na variação não previsível de tensão de Von Mises no aléu Jet Compac.

Para a mesma carga, o aléu JET Compac apresenta tensões maiores que o aléu JET Special Force, enquanto o último apresenta uma maior deformação para a mesma carga, devido à menor rigidez e consequente menor módulo de Young que este apresenta, levando assim que para a mesma força apresente maiores deformações.

Nas figuras apresentadas pode-se ver que tanto as tensões máximas de Von Mises como as tensões máximas segundo x (σ_x), estão localizadas no apoio a meio do aléu. Este apoio representa a mão de controlo do atleta. Esta localização é consistente com a informação retirada da equação 26. As tensões máximas de corte (τ_{xy}) encontram-se na *interface* entre a pá e o cabo do aléu, localizadas mais sobre a curvatura interior do aléu. Também estas se encontram de acordo com as conclusões teóricas da equação 27.

O deslocamento máximo encontra-se na ponta do aléu, como seria de esperar.

O fato de as tensões serem positivas ou negativas depende única e exclusivamente da disposição dos eixos que pode ser vista na Figura 28. O eixo dos x 's é o eixo do cabo do aléu orientado deste a pontado cabo até à pá.

8.2 Análise dos Modos Naturais de Vibração dos Aléus

Depois dos aléus calibrados é possível, através do método numérico dos elementos finitos, calcular os modos naturais de vibração dos dois aléus. Esta análise apenas é feita como curiosidade para aumentar o conhecimento sobre o comportamento dos aléus. Neste trabalho nunca foi considerada a forma como o stique dissipa a energia de vibração que resulta do impacto, por isso a informação sobre os modos e frequências próprias não foi considerada.

Entende-se por frequência natural de vibração a frequência de oscilação do movimento natural de reposta a uma perturbação inicial. Para cada frequência natural de vibração existe um vetor de amplitude que mostra a amplitude dos diversos graus de liberdade do sistema quando o sistema vibra à frequência natural de vibração. Chama-se modo natural de vibração do sistema ao movimento síncrono caracterizado pela frequência natural e pelo vetor modal.[48]

As condições de fronteira para estas análises foi livre-livre. Mais uma vez, usando outro desporto como referência, neste caso o ténis, podemos definir as condições fronteira da forma mais correta possível. Na literatura do ténis, há evidências que existe pouca diferença na resposta entre a raquete livre e a raquete com o cabo fixo, para o impacto da bola ao longo do eixo da raquete.[49], [50], [51],[52],[53]. Quando a bola bate na raquete, produz uma onda transversal que viaja ao longo da raquete, e então é refletida tanto a partir da ponta como da extremidade do topo. Se a onda for refletida da extremidade e chegar à zona de impacto depois de a bola ter partido, a bola não terá conhecimento de como o punho é segurado. [54] O mesmo pode ser aplicado para o aléu do hóquei em patins, onde a bola parte antes da onda transversal chega à zona de impacto após a bola sair, daí haver dois impactos entre a bola e o aléu no remate.[4]

Na Tabela 13 apresenta-se as três primeiras frequências naturais para os dois aléus sem contar com o movimento de corpo rígido, ou seja, com frequências naturais muito pequenas.

Tabela 13 - Frequências naturais dos dois aléus

	Jet Compac	Jet Special Force
1ª Frequência (Hz)	52,488	44,772
2ª Frequência (Hz)	100,46	89,847
3ª Frequência (Hz)	141	116,35

Desde a Figura 72 até à Figura 77 mostra-se os deslocamentos para as três frequências acima descritas

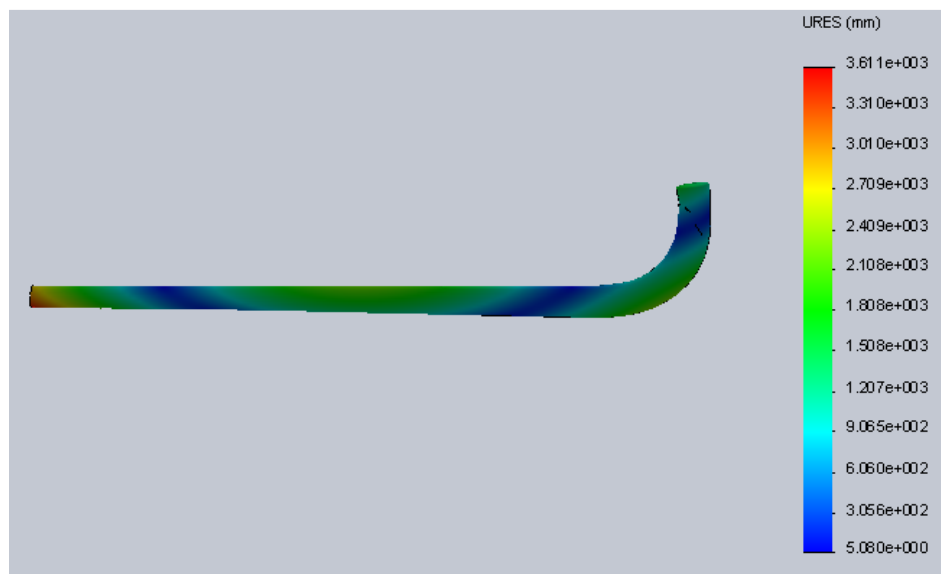


Figura 72 - Modo de vibração da 1ª frequência natural no aléu Jet Compac

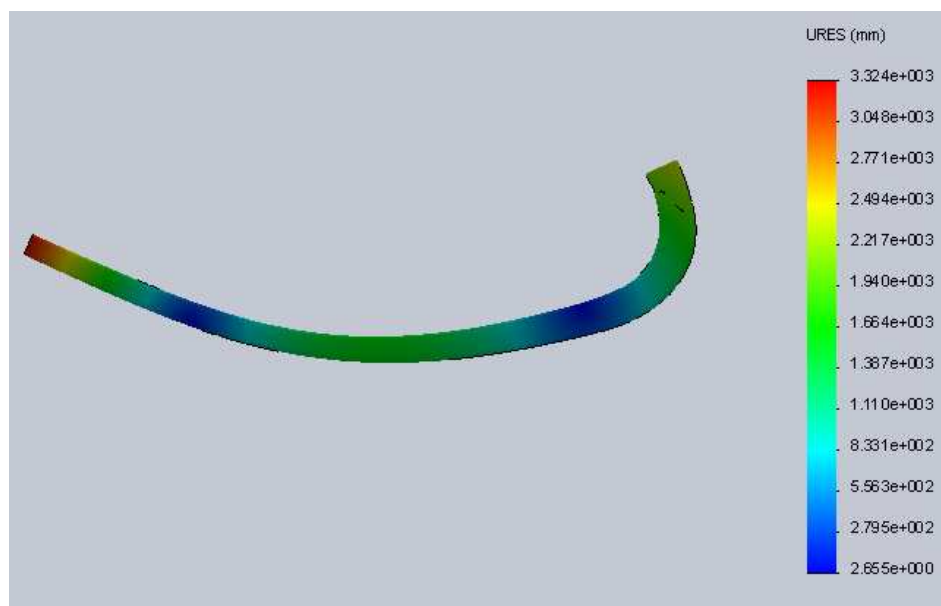


Figura 73 - Modo de vibração da 2ª frequência natural no aléu Jet Compac

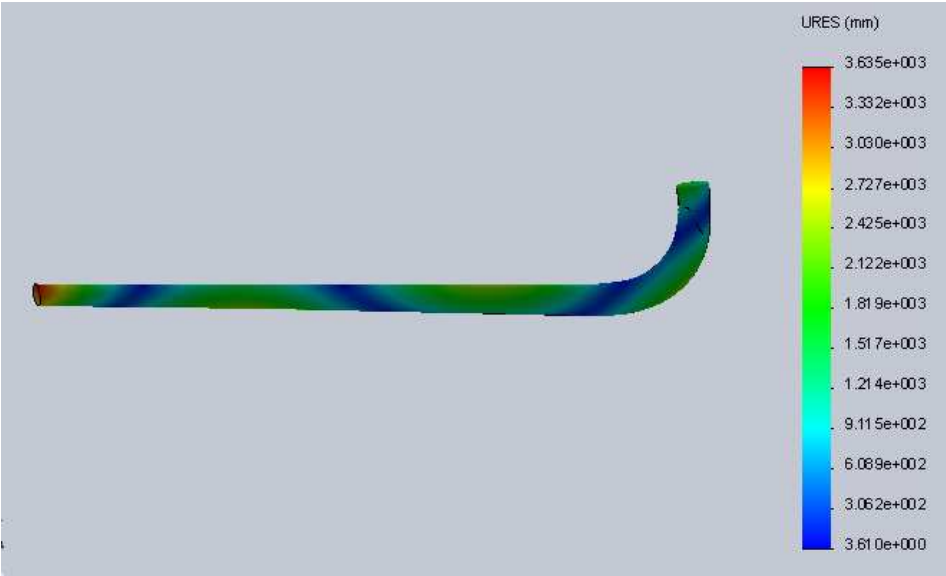


Figura 74 - Modo de vibração da 3ª frequência natural no aléu Jet Compac

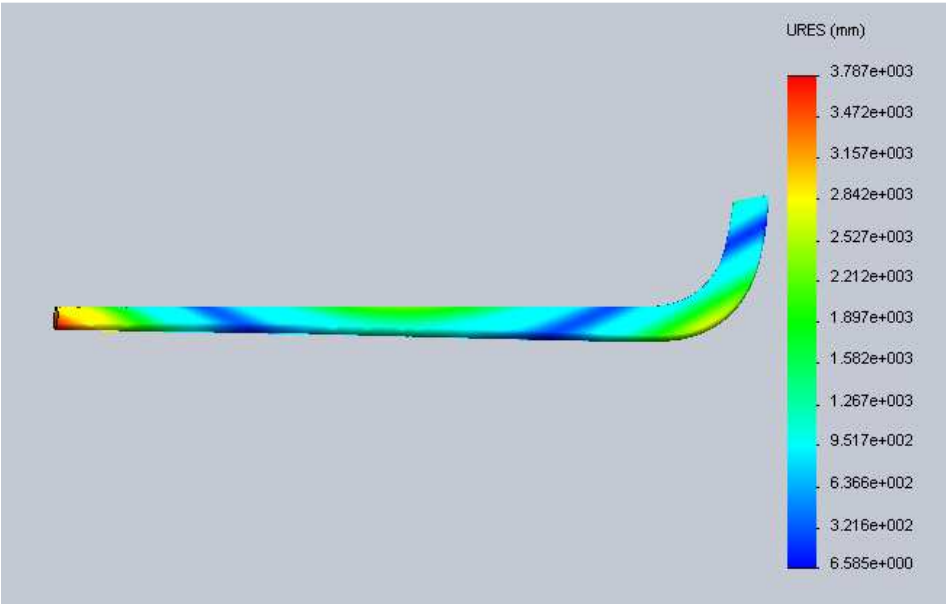


Figura 75 - Modo de vibração da 1ª frequência natural no aléu Jet Special Force

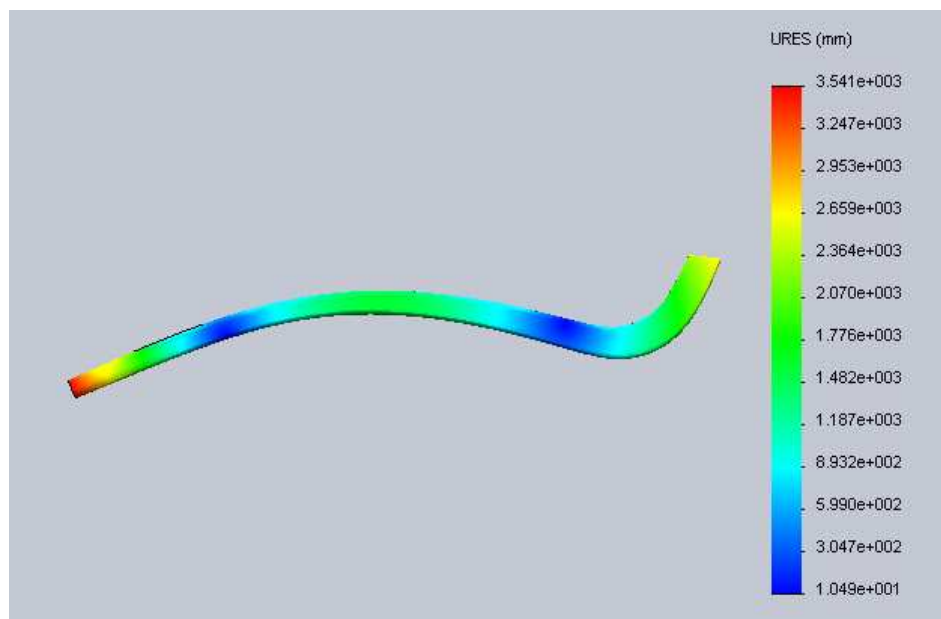


Figura 76 - Modo de vibração da 2ª frequência natural no aléu Jet Special Force

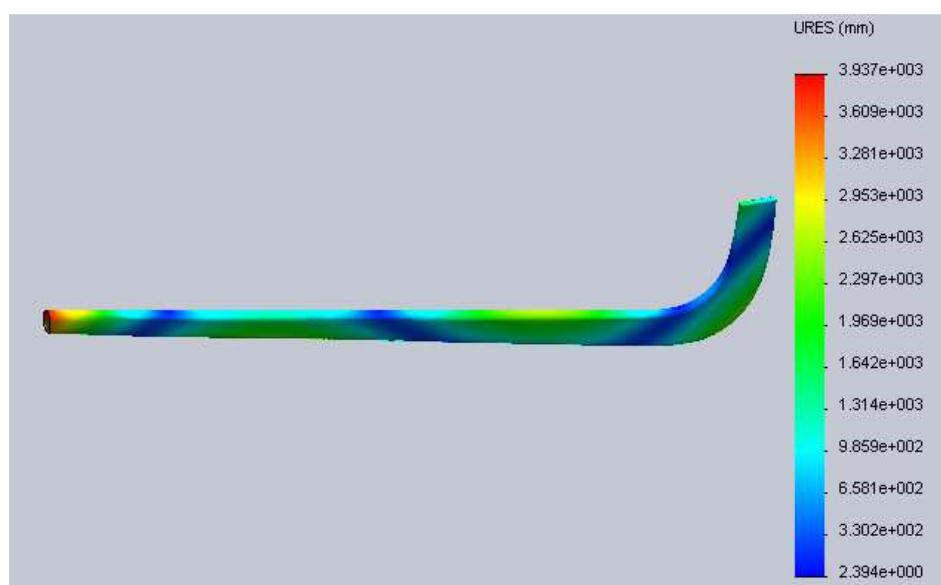


Figura 77 - Modo de vibração da 3ª frequência natural no aléu Jet Special Force

De salientar as bandas a azul-escuro que são os nodos de vibração. Entende-se por nodo de vibração um ponto do elemento elástico que permanece estacionário durante a vibração.[48] De reparar que nos modos de vibração correspondentes à primeira e à terceira frequência existe nodos de vibração na pá. Se a bola bater nestes pontos, o atleta não sente a vibração do aléu nas mãos (a interface entre o atleta e o aléu). Se a bola bater em qualquer outro dos pontos do aléu, a vibração é sentida pelo atleta, devido às ondas de vibração.

Quanto à comparação entre os dois aléus, é notório que as frequências naturais de vibração são menores no aléu Jet Special Force em comparação com o aléu Jet Compac. Quanto maior for a rigidez do elemento, maior será a frequência natural para o mesmo modo de vibração. Isto pode ser facilmente provado pela equação da frequência natural[48].

$$w_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

32

Apesar da massa da massa do aléu Jet Compac ser maior que a do Jet Special Force, a rigidez é o que têm uma maior variação, levando assim ao aumento da frequência natural.

Quanto à disposição dos deslocamentos e dos nodos de vibração, podemos ver que são muito semelhantes entre os dois aléus.

8.3 Análise da Precisão dos Diferentes Tipos de Remate

8.3.1 Primeiro Protocolo da Análise da Precisão

No primeiro protocolo os resultados estão representados na Tabela 14.

Tabela 14 - Análise da precisão dos dois tipos de remate. 1 corresponde ao remate acertar no alvo e 0 corresponde a falhar no alvo.

Remate Normal							Total	Percentagem
Atleta 1	1	1	0	0	0	0	2	33,33333333
Atleta 2	0	0	0	0	0	0	0	0
Atleta 3	0	0	0	0	0	0	0	0
Atleta 4	0	0	1	1	0	0	2	33,33333333
Atleta 5	0	0	0	0	0	1	1	16,66666667
Atleta 6	0	0	0	0	0	0	0	0
							Média	8,333333333
							Desvio Padrão	16,38653467
Remate com a Ponta Stick							Total	Percentagem
Atleta 1	0	0	0	0	0	0	0	0
Atleta 2	0	0	0	1	1	1	3	50
Atleta 3	0	0	0	0	0	0	0	0
Atleta 4	0	0	1	0	0	0	1	16,66666667
Atleta 5	0	0	0	0	0	0	0	0
Atleta 6	0	0	1	0	0	0	1	16,66666667
							Média	8,333333333
							Desvio Padrão	19,48408657

Através desta tabela é possível verificar que no remate normal a bola acertou o alvo 8,3%±16,4% e no remate com a ponta do aléu a bola acertou no alvo 8,3%±19,5%. Os

resultados são assim muito parecidos, embora a experiência em si seja inconclusiva, devido à pouca precisão de alguns atletas.

8.3.2 Segundo Protocolo da Análise da Precisão

Na Figura 78 e na Figura 79 apresenta-se os resultados desta segunda experiência para avaliar a precisão. De salientar que cada cor representa um atleta diferente e que o mesmo atleta é representado pela mesma cor nos resultados do remate normal e no remate com a ponta do aléu.

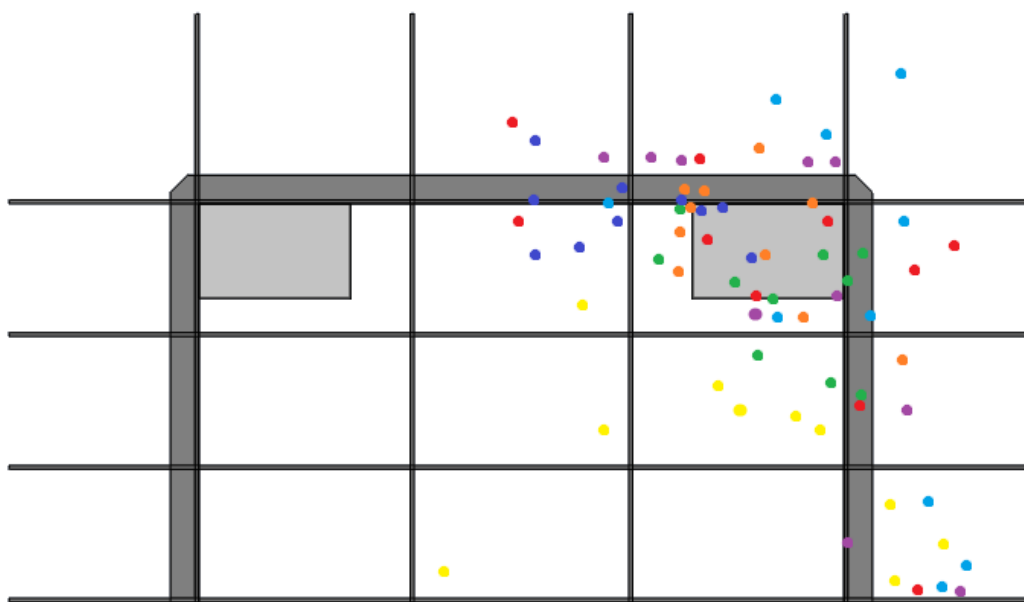


Figura 78 - Resultados da precisão durante o remate normal.

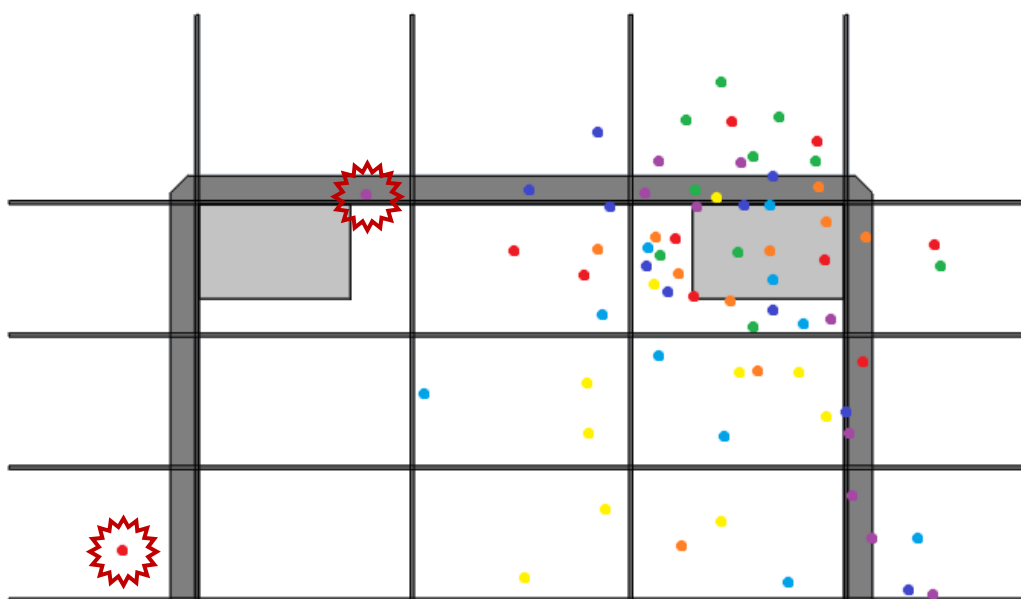


Figura 79 - Resultados da precisão durante o remate com a ponta do aléu.

Pela análise das duas imagens parece que os dois remates são parecidos em termos de precisão. No entanto é necessário uma análise numérica para se ter uma ideia mais precisa dos resultados.

Para uma melhor análise dos resultados foi usado o Matlab. Carregando a imagem para o Matlab foi possível colocar a Figura 78 e a Figura 79 num sistema de eixos, sendo assim possível determinar as coordenadas de cada ponto. Para isso foi criado um ponto no centro do alvo e sobre o qual foi calculada a distância entre este e cada ponto alcançado pela bola durante os remates. Este ponto tem como coordenadas (534,170), no sistema de eixos apresentado pelo Matlab. Na Figura 80 mostra-se a posição desse ponto no desenho.

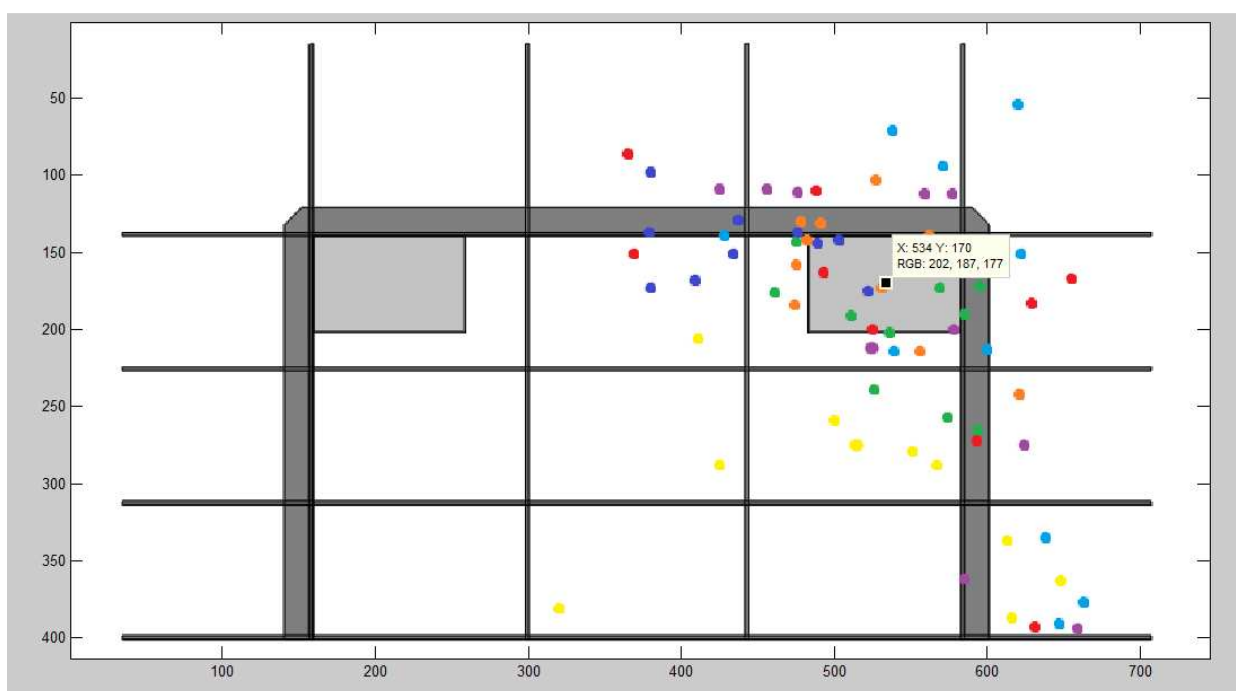


Figura 80 - Localização do sistema de eixos a partir do qual se calculou a distância ao ponto. O sistema de eixos encontra-se no centro do alvo no ponto (534,170). A escala usada foi a fornecida pelo Matlab e encontra-se representada na Figura.

Posteriormente, através das potencialidades do Matlab, foi colocado o cursor em cima dos pontos representados na Figura 78 e na Figura 79 e foram retiradas as coordenadas destes pontos e depois calculada a sua distância em relação ao ponto definido como sendo o centro do alvo. Na Tabela 15 apresenta-se um exemplo da análise feita. Neste caso foi feita para o atleta representado pelos pontos vermelhos para o remate normal.

Tabela 15 - Análise dos pontos representativos dos remates do atleta representado pelos pontos vermelhos.

Vermelho	X	Y	X relativo	Y relativo	Distância
1	365	87	169	83	188,2817
2	368	152	166	18	166,9731
3	488	110	46	60	75,60423
4	494	163	40	7	40,60788
5	573	151	39	19	43,38202
6	525	199	9	29	30,36445
7	630	182	96	12	96,74709
8	655	167	121	3	121,0372
9	593	273	59	103	118,7013
10	631	393	97	223	243,1831
		Média	77,5	55,7	95,43972

Depois dos cálculos efetuados e calculada a distância média a que os remates ficaram do ponto central do alvo temos os seguintes resultados:

- Remate Normal: Distância média: $101,6 \pm 36,6$ mm;
- Remate com a Ponta do aléu: Distância média: $96,5 \pm 24,2$ mm.

Um fator interessante observado durante a execução do remate com a bola a bater na ponta da pá é que, quando o atleta não consegue executar corretamente o movimento de *snap* dos pulsos por não fazer força suficiente nestes, a bola sai com uma trajetória muito diferente da inicialmente planejada, como se pode ver na Figura 79. Daí os dois remates marcados nesta figura que tomaram a direção do lado oposto da baliza em relação aos cantos desejados pelos atletas.

Neste ensaio de precisão foi optado por filmar o último dos dois tipos de remate de cada atleta. Depois de analisados os vídeos, apenas três atletas nos remates analisados conseguiram no primeiro remate efetuar um remate normal e no último um remate com a ponta do aléu.

Na Tabela 16 apresenta-se o tempo de contacto entre a bola e o aléu nos remates destes atletas, analisados usando o Kinovea®

Tabela 16 - Tempo de contacto nos dois remates

Tempo de contacto (ms)	Remate Normal	Remate com a Ponta do aléu
Atleta 1	33	42
Atleta 2	29	39
Atleta 3	33	46

Podemos analisar que nestes três casos o tempo de contacto entre a bola e o aléu é maior no remate com a ponta do aléu de que no remate normal.

Outro ponto interessante é que o aléu se deforma mais no remate com a ponta do aléu que no remate normal, algo que vem em concordância com a análise feita pelos deslocamentos obtidos nos elementos finitos. É de notar que a força feita pelos atletas nos dois remates muito provavelmente não tiveram amplitudes iguais, no entanto este aspeto verificou-se nos três remates analisados.

8.4 Análise do Remate com a Ponta do Aléu

Para facilitar a leitura deste trabalho chamemos:

- Remate A – Remate na tangente do cabo com a mola 1 montada;
- Remate B – Remate a meio do aléu com a mola 1 montada;
- Remate C – Remate na ponta do aléu com a mola 1 montada;
- Remate D – Remate na ponta do aléu com a mola 1 e a mola 2 montadas.

8.4.1 Tempo de Contacto

Depois de analisados os quatro remates no Kinovea® foram calculados os seguintes tempos de contacto entre a bola e o aléu

Tabela 17 - Tempo de contacto dos três remates

	Tempo de contacto (ms)
Remate A	300
Remate B	200
Remate C	1000
Remate D	900

No remate B a bola apresenta três contactos com o aléu durante o impacto. O tempo de contacto calculado foi o maior dos três que foi o segundo contacto. Estes contactos devem-se ao modo de vibração do aléu, já explicado no capítulo 8.2 e também à força realizada pela mola aquando da rotação do aléu, que provoca o terceiro contacto. Este aspeto deveu-se ao

facto de a bola não ter tido velocidade suficiente para sair da zona que o aléu ocupou depois da recuperação. Nos outros três remates apenas houve um contacto entre a bola e o aléu.

No remate C o tempo de contacto foi o maior. No entanto observou-se que a bola rolou ao longo do aléu quando este estava deformado. Este aspeto foi reduzido em muito no remate D, quando se colocou as duas molas em paralelo. O que foi aqui dito pode ser visto na Figura 81, onde a linha azul representa o caminho seguido pela bola.

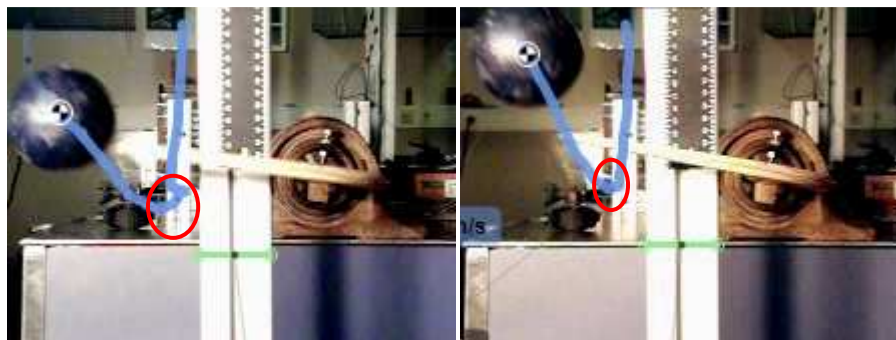


Figura 81 - Trajetória da bola no remate C e no remate D

Quando a trajetória da bola é descendente sem ser aproximadamente no plano vertical, é quando a bola está a rolar sobre o aléu. Como se poder ver, no remate D este efeito é muito menor, devido à maior força realizada pelo conjunto das duas molas. No entanto, no remate D ainda existe este efeito da bola rolar sobre o aléu, o que leva a crer que a força realizada pelas molas deveria de ser superior, para se obter um melhor remate. No remate C, o efeito em que parece que a bola recua no aléu, deveu-se a um erro no programa na definição do caminho.

Este efeito de rolamento da bola também acontece no hóquei no gelo, onde o disco é acelerado em rotação devido às forças de fricção entre o disco e a lâmina.[55] Este movimento do disco é compensado pela curvatura da lâmina do aléu, o que permite assim aos atletas obterem melhores precisões no remate. Visto que no hóquei em patins o aléu é plano, não é de todo interessante este rolamento da bola, sendo assim de evitar.

8.4.2 Ângulo com que a Bola sai do Aléu

Este subcapítulo tem como objetivo observar a trajetória da bola através do ângulo de saída da bola. Quanto maior for o ângulo mais complicado será para o atleta rematar com precisão.

Tabela 18 - Ângulo de saída da bola

	Ângulo de saída da bola (°)
Remate A	8
Remate B	21
Remate C	46
Remate D	35

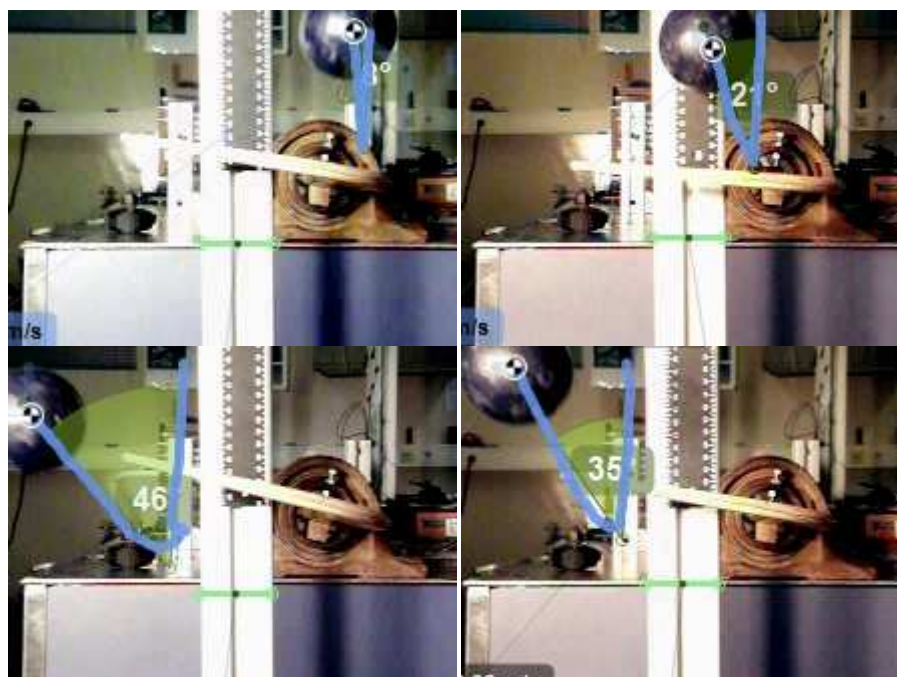


Figura 82 - Trajetória da bola após o impacto com o aléu

Como se pode analisar pela Tabela 18 e pela Figura 82 quanto mais próxima a bola estiver da ponta do aléu, maior será o ângulo de saída da bola e consequentemente mais difícil será para o atleta efetuar o remate com a precisão desejada. No entanto, quando se utiliza forças elásticas maiores (devido à adição da segunda mola) o ângulo analisado diminui, levando a crer que o atleta necessita de realizar mais força no movimento de *snap* dos pulsos para a bola sair com maior precisão. Estes resultados encontram-se em concordância com os observados no capítulo 8.3.2 onde foi referido que quando os atletas não faziam força suficiente nos pulsos a bola tomava direções contrárias às desejadas.

8.4.3 Força Realizada pelas Molas

A última análise realizada foi à força realizada pelas molas. Para isso é necessário saber o deslocamento sofrido por estas. Sabendo que a distância entre o centro do aléu e a zona do grampo onde a mola se vai ligar é 75mm e sabendo o ângulo quando o aléu gira sobre o seu próprio eixo é possível saber o deslocamento da mola. Estes valores encontram-se na Tabela 19

Tabela 19 - Ângulo de rotação do aléu e deformação da mola

	Ângulo de rotação do aléu (°)	Deformação da mola (m)
Remate A	9	1,19E-02
Remate B	12	1,59E-02
Remate C	21	2,88E-02
Remate D	18	2,44E-02

Com a deformação e a rigidez das molas (no remate D a rigidez é a soma da mola 1 com a mola 2), é possível obter a força realizada por estas.

Tabela 20 - Força realizada pelas molas

	Rigidez das molas (N/m)	Força realizada pelas molas (N)
Remate A	1,02E+04	1,21E+02
Remate B	1,02E+04	1,63E+02
Remate C	1,02E+04	2,94E+02
Remate D	2,21E+04	5,39E+02

Pela análise da Tabela 20 pode ver-se que, quanto mais próxima a bola estiver da ponta do aléu, mais força se tem que realizar nos pulsos (na mola). Tendo em conta o remate C e o remate D, podemos ver que as duas molas realizaram uma força maior sobre o aléu do que uma só mola, como seria de esperar.

Através da força realizada pelas molas e do tempo de contacto entre a bola e o aléu, é possível calcular a energia que o atleta transmite à bola através do movimento de *snap*.

Tabela 21 – Energia que o atleta transmite à bola através do movimento de *snap*

	Energia das Molas Transmitidas ao aléu (J)
Remate A	36,3
Remate B	32,6
Remate C	294
Remate D	485

Pela análise da Tabela 21 é possível observar que, quanto a bola bate mais na ponta do aléu, o atleta transmite-lhe maior energia. No remate B isto não acontece pois, dos três contactos, apenas foi contabilizado o mais longo. Um aspeto importante de analisar é que, embora o Remate D possua um tempo de contacto inferior ao do Remate C, este consegue com que seja transmitida mais energia das molas para a bola, devido à maior força realizada pelo elemento elástico.

Por último refere-se que durante a experiência houve perdas energéticas no mecanismo devido ao estado das chumaceiras que apresentavam alguns danos devido à presença ferrugem.

9. Conclusões e Perspetivas de Trabalho Futuros

Este trabalho permitiu desmistificar um pouco da física envolvida num remate de hóquei em patins e a forma como a Engenharia Mecânica pode ter um contributo importante no estudo deste fenómeno de forma a perceber-lo e posteriormente melhorá-lo, seja por alteração do aléu ou de uma técnica de remate melhor.

Foi mostrado neste trabalho qua as principais formas de alterar a performance de um remate batido é: alterar a força aplicada pelo aléu na bola, alterar a velocidade do aléu, alterar o momento de inércia e/ou alterar o tempo de contacto.

Embora teoricamente a rigidez seja um fator importante no remate (tem influencia na força transmitida pelo aléu à bola e no tempo de contacto), estudos no âmbito do hóquei no gelo mostraram que na prática, no *slap shot* (equivalente ao remate batido no hóquei em patins), esta acaba por não ter uma influência determinante.

Sendo assim, este trabalho direcionou-se para o tempo de contacto e formas de influenciar este. Quanto maior for o tempo de contacto maior será a energia transmitida do aléu para a bola. A forma de aumentar o tempo de contacto que foi estudada neste trabalho foi a execução do remate com a ponta do aléu.

Um dos objetivos deste trabalho era perceber a melhor ou pior eficácia de um remate com a ponta da pá em comparação com o remate normal, que se supunha ser uma forma de aumentar o tempo de contacto entre o aléu e a bola.

Na análise das tensões e dos deslocamentos percebeu-se que à medida que o remate é efetuado mais na ponta do aléu, maior é o deslocamento desta, originando assim maiores forças em relação a quando o remate é efetuado mais na ponta. O aléu Jet Special Force possui uma rigidez menor, levando a maiores deformações na altura do remate.

Os resultados comprovam que rematando mais na ponta do aléu este transmite mais energia à bola levando assim a um provável aumento da velocidade. No entanto para este fator ser totalmente correto é importante frisar que o tempo de contacto entre a bola e o aléu tem que ser igual ou superior a quando a bola é batida noutra qualquer ponto da pá.

Esta conclusão de que remates na ponta do aléu originam maiores forças, através do efeito de alavanca, foi também comprovada no estudo do remate com a ponta do aléu através da utilização de um mecanismo. Foi provado que quanto mais na ponta for efetuado o remate, maior a força que a mola (os pulsos do atleta) tem que exercer.

Na análise experimental da precisão destes dois remates foi observado que, para o alvo onde os atletas se sentiam mais a vontade para rematar, a precisão dos dois remates é idêntica. Sendo assim, quanto à precisão, não há motivos para não se ensinar este tipo de remate aos atletas aquando da sua formação.

Este estudo foi feito só com sete elementos de uma equipa da 2ª divisão de Hóquei em Patins. Propõe-se para estudos futuros que seja usada uma amostra maior, com atletas de várias equipas, de várias divisões e de vários escalões para uma melhor análise dos resultados. Também se propõe o estudo para o outro ângulo superior bem como o remate do modo reverso. O protocolo apresentado mostrou-se eficiente e, acima de tudo, de baixo custo. As zonas onde os atletas remataram foram apontadas por um observador que no local colocou numa folha como a exposta no Anexo D um ponto a simular a zona do remate. Este procedimento acarreta alguns erros por causa do observador. Um método mais correto de fazer esta experiencia seria colocar uma camara de vídeo a apontar para a baliza e

posteriormente calcular o ponto onde a bola cruzou a linha de golo. Além disso, embora fosse pedido a todos os atletas que efetuassem o remate na ponta do aléu alguns deles não conseguiram que a bola batesse na ponta do aléu em alguns dos remates efetuados. Para saber se os remates são ou não efetuados com a ponta do aléu pode-se filmar o remate e posteriormente visionar se o remate foi ou não efetuado na ponta. Neste trabalho tal aspeto foi impossível devido à falta de espaço no cartão de memória utilizado para armazenar os vídeos.

Outra análise a ser feita é a da velocidade de remate. Esta pode ser facilmente calculada através do uso de um radar de velocidade. Assim era possível fazer a medição da precisão e da velocidade dos dois tipos de remate no mesmo instante, levando a conclusões mais completas.

Este estudo permitiu assim obter uma ideia geral da precisão destes remates e principalmente um ponto de partida para futuros estudos sobre o tema.

Por fim, o remate com a ponta do aléu permite remates com tempos de contacto maiores entre o aléu e a bola, sendo esta teoria comprovado experimentalmente. Este remate aproveita o movimento de *snap* realizado pelos pulsos (no mecanismo simulado por molas) para aumentar o tempo de contacto. Também foi mostrado que para os remates serem efetuados na ponta do aléu é necessário realizar uma força maior nos pulsos, para que o remate saia com a direção desejada. Quanto menor for esta força, maior é o ângulo da bola à saída do aléu, originando a que esta tome direções contrárias às desejadas. Foi também observado um efeito de rolamento da bola ao longo do aléu. Este efeito não é desejado pois, devido à forma do aléu, é um dos fatores que leva a que a bola saia na direção contrária à desejada. Este efeito é diminuído à medida que se aumenta a força das molas e consequentemente dos pulsos. Uma observação importante foi que, com o aumento da força do elemento elástico, embora o tempo de contacto seja inferior a energia transferida deste elemento elástico para a bola aumenta.

Por último, este trabalho foi realizado estudando os aléus Jet Compac e Jet Special Force. O último é o mais acertado para realizar os remates com a ponta do aléu devido a forma da sua pá, que é mais aberta em relação ao aléu Jet Compac. Esta forma permite que o atleta consiga chegar com a ponta do aléu mais facilmente ao plano da bola aquando de remate, algo que é mais complicado no aléu Jet Compac, onde a pá é mais fechada.

Como nota final refere-se que o hóquei em patins tem sofrido alguns desenvolvimentos técnicos, como por exemplo o remate com a bola no ar, onde só desde alguns anos para cá alguns clubes começaram a treinar este movimento técnico nas camadas mais jovens. No entanto estas alterações são feitas quando antigos atletas chegam a treinadores das mesmas camadas jovens e com alguma experiência própria conseguem introduzir novos aspetos na modalidade. No entanto mostrou-se neste trabalho que o hóquei em patins, como qualquer desporto, está ligado à engenharia e que, com um trabalho interligado entre esta ciência e a ciência do desporto se podem obter melhores performances dos atletas, melhorando assim o espetáculo e chamando mais pessoas a interessar-se por esta modalidade.

10. Bibliografia

1. Simões, J.P.J., *Escala Corporal – Comprimento do setique de Hóquei em Patins e Constrangimentos Intrínsecos em Crianças*, 2010.
2. Honório, E., *O Hóquei em Patins no contexto das modalidades desportivas*. 1988.
3. Wikipedia. http://pt.wikipedia.org/wiki/Vila_Real#Lenda_da_origem_da_palavra_Aleu. Junho 2012.
4. Ferreira, J.L.C., *Identificação das Propriedades Mecânicas de um stick com Influência no seu Desempenho Dinâmico e a sua Adaptação às Características do Movimento de Remate*, in *Engenharia Mecânica* 2011, FEUP.
5. Velasco, F., *Hóquei em Patins* 1982, Portugal: Editorial Presença.
6. Cornish, J., Otto, S., Strangwood, M., *Modelling the Oblique Impact of Golf Balls*. The Engineering of Sport 7, 2008. 1: p. 669-675.
7. Wikipedia. <http://en.wikipedia.org/wiki/Golf>. Maio 2012.
8. Wikipedia. http://pt.wikipedia.org/wiki/H%C3%B3quei_em_campo. Maio 2012.
9. Eliot, D., *Final round wide open with six teams in the hunt*, in *Sports Illustrated* 2002.
10. Rink-Hockey. <http://www.rink-hockey.net/palmares-world.xls>. Maio 2012 [cited 2012 Junho].
11. Federação de Patinagem de Portugal, *Regulamento técnico*, 2010.
12. Ranga, D., Cornish, J., Strangwood, M., *The Role of Materials and Construction on Hockey Ball Performance*. 2009.
13. Haché, A., *The Physics of Hockey* 2002: The Johns Hopkins University Press.
14. National Hockey League, <http://www.nhl.com/ice/page.htm?id=26286>. Maio 2012.
15. Cardoso, F.A., Cerqueira, F. V., Santos, J. N. N., Lopes, R. F. O., *Análise estática e dinâmica de um Stick de Hóquei no gelo*, in *Engenharia Mecânica* 2012, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
16. Mário A P Vaz; Nuno Ramos; João Abrantes; F Queirós de Melo, F.C., *BIOMECHANICS OF THE PENALTY STROKE IN ROLLER HOCKEY*. 2011.
17. Honório, E., *Contribuição para uma Terminologia no Hóquei em Patins, Parte I - Técnica*, in *Magazine Patinagem* 1998, Federação Portuguesa de Patinagem: Lisboa.
18. <http://www.goncahoquei.blogspot.pt/>. Julho 2012.
19. Van Ingen Schenau, G.J., Cavanagh, P.R., *Power equations in endurance sports*. Journal of Biomechanics, 1990. **23(9)**: p. 865-881.

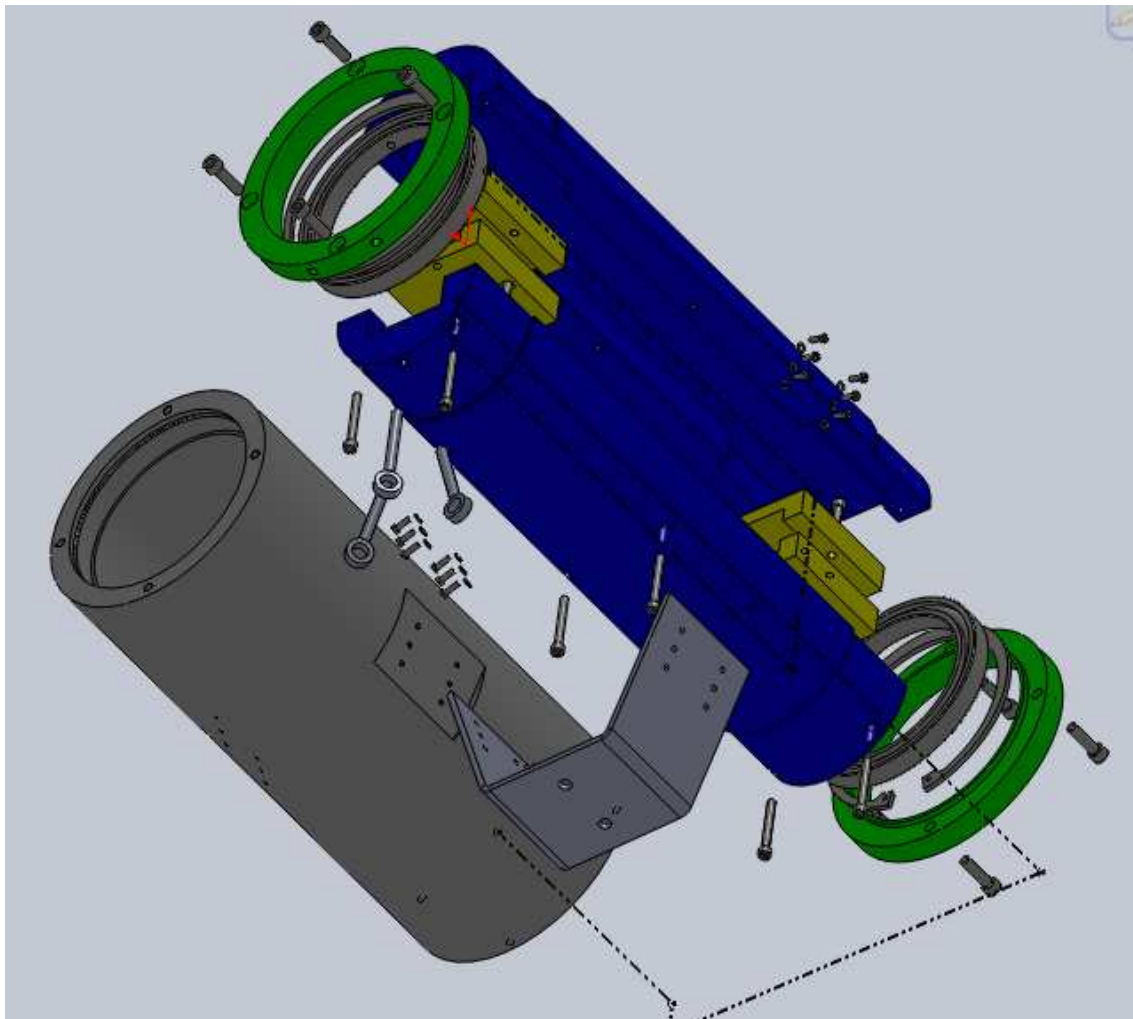
20. Stefanyshyn, D.J., Worobets, J. T., *Sports Equipment – energy and performance*, in *Handbook of Biomechanics and Human Movement Science*, Y. Hong, Bartlett, R., Editor 2008, Routledge International Handbooks. p. 257-268.
21. Peedmatrix. <http://www.speedmatrix.ca/bike-fitting-in-calgary/science-of-biomechanic>. Abril 2012.
22. Wishon, T., Grundner, T., *The Search for The Perfect Golf Club*. Ann Arbor: Sports Media Group, 2005.
23. Wednet.
http://whs.wsd.wednet.edu/Faculty/Busse/MathHomePage/busseclasses/apphysics/studyguides/chapter9_2008/Chapter9StudyGuide2008.html. Abril 2012.
24. Villasenor, A., Turcotte, R.A., Pearsall, D.J., *Recoil Effect os the Ice Hockey Stick During a Slap Shot*. McGill University, 2006.
25. Thompson, B.E., Friess, W.A., Knapp II, K.N., *Aerodynamics of speed skiers*. Sports Engineering 4, 2001. **2**: p. 103-112.
26. Lomond, K.V., Turcotte, R.A., Pearsall, D.J., *Three-dimensional analysis of blade contact in an ice hockey slap shot, in relation to player skill*. Sports Engineering, 2007. **10**: p. 87-100.
27. Polano, R.N., *3-D Kinemathical Analysis of the Ice Hockey Slap Shot*, 2003, University of Western Ontário: Canadá.
28. Woo, T.K., *Tree Dimensional Kinematic Analyses of the Stationary Ice Hockey Slap Shot: Elite versus Recreationl.*, 2004, McGill University: Montréal, Canadá.
29. Halliday, D., Resnick, R., Walker, J., *Fundamentos da Física* 2006: LTC.
30. Hoerner, E.F., *The dynamic role played by the ice hockey stick*, in *Safety in ice hockey*, I.C.R.C.a.E.F.H. (Eds.), Editor 1989, American Society for Testing and Materials.: Philadelphia: . p. 154-163.
31. Marino, G.W., *Biomechanical investigations of performance characteristics of various types of ice hockey sticks.*, in *Proceedings 1 of the International Society of Biomechanics of Sport*, H.J.R.M.M.V. (Eds.), Editor 1998: Konstanz, Germany,. p. 184-187.
32. Pearsall, D.J., Turcotte, R.A., Murphy, S.D., *Biomechanics of Ice Hockey*. Exercise & Sport Science. Ed. Garrett & Kirkendall, 2000: p. 43:675-692.
33. Wu, T.-C.T., *The Performance of the Ice Hockey Slap and Wrist Shots: The Effects of Stick Construction and Player Skill*, 2002, McGill University.
34. Stefanyshyn, D.J., Worobets, J. T., Fairbair J.C., *The influence of shaft stiffness on potencial energy and puck speed during wrist and slap shots in ice hockey*. Sports Engineering, 2006. **9**: p. 191-200.
35. Gomes, J.F.S., *Mecânica dos Sólidos e Resistência dos Materiais* 2009, Porto: Edições INEGI.
36. Michaud-Paquette, Y., *Ice hockey stick and puck biomechanical predictors of wrist shot accuracy*, in *Department of Kinesiology and Physical Education* 2008, McGill University: Montreal, Quebec, Canada.

37. Alexander, J.F., Haddow, J.B., Schultz, G.A., *Comparison of the ice hockey slap and wrist shots for speed and accuracy*. research Quarterly, 1963: p. 259-266.
38. Hayes, D., *A mechanical analyses of the hockey slap shot*. Journal of the Canadian Association for Health, Physical Education, Recreation, 1965: p. 17,31-32,39.
39. Woo-Jin Roh, Chong-Won Lee, *Correlation Between the Linear Impulse and Golf Ball Spin Rate*. The Engineering of Sport 7, 2008. **Vol. 1**
40. Wordpress. <http://cs2010.wordpress.com/category/school-stuff/physics-ii/>. Junho 2012.
41. Kreighbaum, E., Barthels, K.M., *Biomechanics. A qualitative approach for studying human movement*. Needham Heights, 2006.
42. Wikipedia. <http://en.wikipedia.org/wiki/SolidWorks>. Junho 2012.
43. Vieira, J.M.N., *Matlab num Instante*. Vol. Versão 1.4. 2004: Departamento de Electrónica e Telecomunicações da Universidade de Aveiro.
44. Kinovea. <http://www.kinovea.org/en/>. Junho 2012.
45. Wikipedia. http://pt.wikipedia.org/wiki/C%C3%A2mera_de_precis%C3%A3o. Junho 2012.
46. Fuss, F.K., *Non-linear Viscoelastic Properties of Golf Balls*. In *The Impact of Technology in Sport II*. 2007: p. 207-221.
47. U.S.Departmente of Agriculture., *The Encyclopedia of Wood*, I. U.S. America: Skyhorse Publishing, Editor 2007.
48. Rodrigues, J.D., *Apontamentos de Vibrações de Sistemas Mecânicos*, in *Departamento de Engenharia Mecânica2011*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
49. Grabiner, M., Groppel,J., Campbell,K., *Resulting tennis ball velocity as a function of off-center impact and grip firmness*. Med. Sci. Sports Exercise & Sport Science. Ed. Garrett & Kirkendall, 1983. **15**: p. 542-544.
50. Baker, J., Putnam, C., *Responses During Impact Under Clamped and Freestanding Conditions*. Responses During Impact Under Clamped and Freestanding Conditions, 1979. **50**: p. 164-170.
51. Watanabe, T., Ikegami,Y., Miyashita,M., *Tennis: The effect of grip firmness on ball velocity after impact*. Med. Sci. Sports Exercise & Sport Science. Ed. Garrett & Kirkendall, 1979. **11**: p. 359-361.
52. Hatze, H., *Forces and duration of impact and grip tightness during the tennis stroke*. Med. Sci. Sports Exercise & Sport Science. Ed. Garrett & Kirkendall, 1976. **8**: p. 88-95.
53. Elliott, B., *Tennis: The influence of grip tightness on reaction impulse and rebound velocity*. Med. Sci. Sports Exercise & Sport Science. Ed. Garrett & Kirkendall, 1982. **14**: p. 348-352.
54. Brody, H., *The physics of tennis. III. The ball–racket interaction*, in *Physics Department*,1997: University of Pennsylvania, Philadelphia, Pennsylvania 19104.

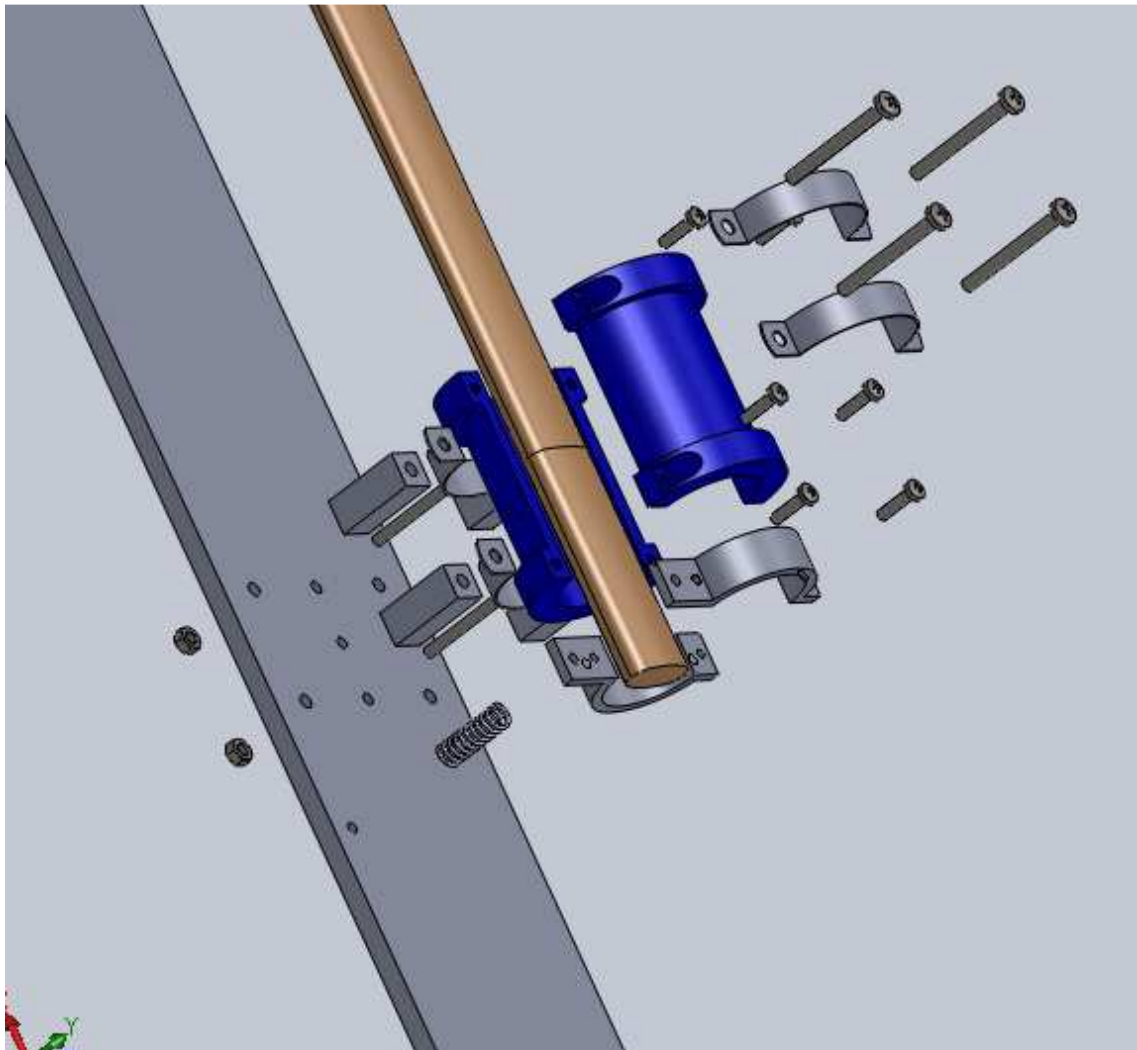
55. Therrian, R., Bourassa,P., *Mechanics application to sport equipments: Protective helmets, hockey sticks, and jogging shoes*, in *Human Body Dynamics: Impact, Occupational and Athletic Aspects*, G. D.N., Editor 1982.

11. Anexos

Anexo A – Vista Explodida da Primeira Solução



Anexo B – Pormenor do Apoio de Trás na Segunda Solução



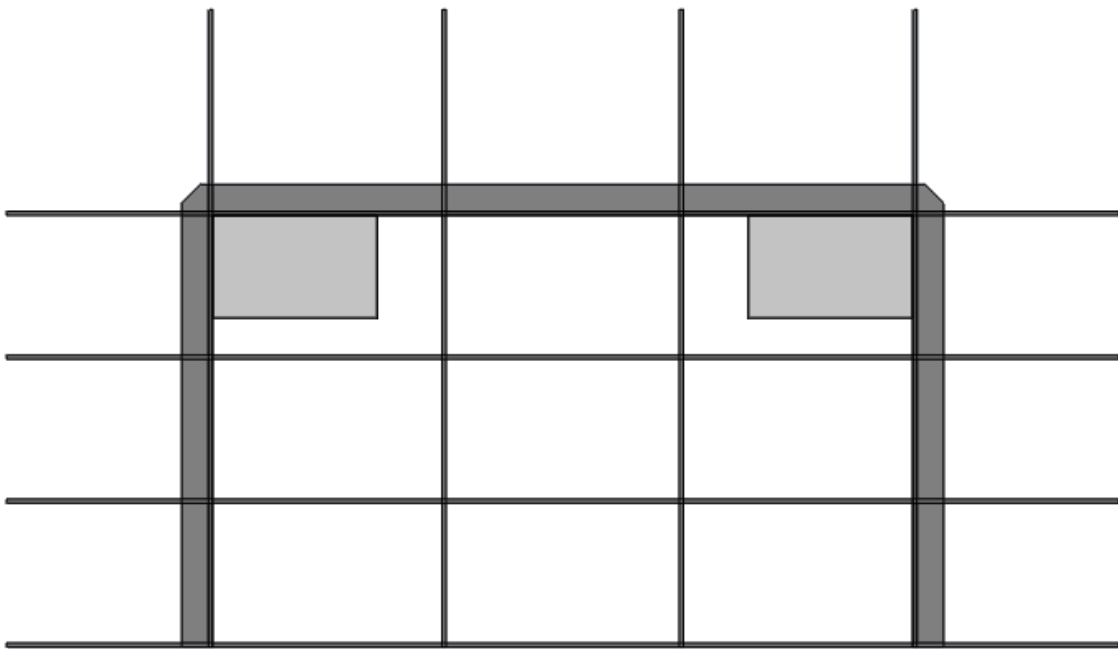
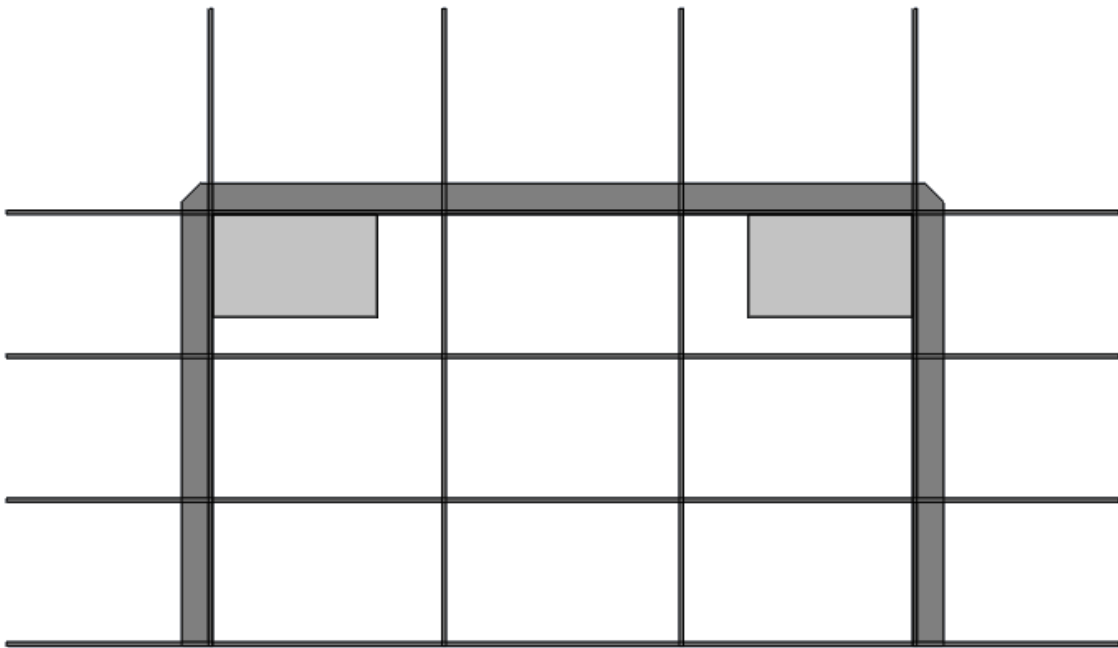
Anexo C – Protocolo da Primeira Experiência da Precisão.

Nome:															
Idade			Altura			Peso									
Mão de controlo		Direita									Esquerda				
Natural															
Remate meio aléu															
TC															
Remate ponta aléu															
TC															
Reverso															
Remate meio aléu															
TC															
Remate ponta aléu															
TC															



- Localização da bola: Penalty
- Posso fazer ate ter 3 remates certos
 - Máximo de 6 remates
 - X - Acertou O - Falhou

Anexo D – Protocolo da Segunda Experiência da Precisão.

Nome:						
Idade		Altura		Peso		
Mão de controlo	Direita				Esquerda	
Natural						
Remate meio aléu						
 Diagrama de remate meio aléu: O diagrama mostra uma representação simplificada de um jogador de hóquei em patins. O corpo do jogador é representado por um retângulo cinza centralizado. As pernas são representadas por duas linhas verticais cinzas. As lâminas dos patins são representadas por duas formas cinzas, uma em cada pé, posicionadas para um remate de meio aléu. O fundo do diagrama é dividido por linhas horizontais e verticais, criando uma grade para anotações.						
Remate ponta aléu						
 Diagrama de remate ponta aléu: O diagrama mostra uma representação simplificada de um jogador de hóquei em patins. O corpo do jogador é representado por um retângulo cinza centralizado. As pernas são representadas por duas linhas verticais cinzas. As lâminas dos patins são representadas por duas formas cinzas, uma em cada pé, posicionadas para um remate de ponta aléu. O fundo do diagrama é dividido por linhas horizontais e verticais, criando uma grade para anotações.						

Estudo dos Mecanismos de Transferência de Energia do Aléu para a Bola no Remate de Hóquei em Patins