



INSTRUMENTAÇÃO PARA REMO OLÍMPICO

Ana Carolina Schmidt Borges

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Biomédica, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Biomédica.

Orientador(es): Marcio Nogueira de Souza

Alexandre Visintainer Pino

Rio de Janeiro

Junho de 2013

INSTRUMENTAÇÃO PARA REMO OLÍMPICO

Ana Carolina Schmidt Borges

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA BIOMÉDICA.

Examinada por:

Prof. Alexandre Visintainer Pino, D.Sc.

Prof. Frederico Caetano Jandre de Assis Tavares, D.Sc.

Prof. Pedro Paulo da Silva Soares, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

JUNHO DE 2013

Borges, Ana Carolina Schmidt

Instrumentação para Remo Olímpico / Ana Carolina Schmidt Borges. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2013.

X, 108 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Marcio Nogueira de Souza

Alexandre Visintainer Pino.

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Biomédica, 2013.

Referências Bibliográficas: p. 116-118.

1. Instrumentação. 2. Remo Olímpico. I. Souza, Marcio Nogueira de *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Biomédica. III. Título.

Dedico este trabalho à minha família
e aos meus amigos, sem eles nada
disso seria possível.

Agradecimentos

Agradeço inicialmente aos meus orientadores pela atenção e paciência investidas em minha orientação, em especial ao Prof. Marcio Nogueira que me acompanha desde o terceiro período do curso de graduação. Obrigada por sempre terem me dado oportunidades de aprender e de me desenvolver como profissional e como pessoa. Obrigada por entenderem minhas limitações quando precisei trancar o mestrado por um período e acima de tudo obrigada por terem deixado que eu retornasse para finalizar este trabalho.

Agradeço também à minha família, principalmente ao meu pai e ao meu marido que sempre me incentivaram a seguir em frente e me deram todo apoio que eu precisava para vencer mais esta etapa.

Agradeço aos colegas de laboratório que tornaram esta caminhada muito mais fácil. Levo desta experiência amigos para a vida toda! Gostaria apenas de registrar em especial minha gratidão a Danielle Polato, Suzana Griffó e Denise Costa que nunca me deixaram pensar em desistir.

Agradeço aos meus gerentes Carlos Cyranka e Dennis Arguelles que entenderam que a este desafio era importante para minha realização pessoal e profissional. Obrigada por acreditarem em mim!

E agradeço a Deus acima de tudo!

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.).

INSTRUMENTAÇÃO PARA REMO OLÍMPICO

Ana Carolina Schmidt Borges

Junho/2013

Orientadores: Marcio Nogueira de Souza

Alexandre Visintainer Pino

Programa: Engenharia Biomédica

A falta de equipamentos que forneçam dados objetivos para avaliar o desempenho dos atletas contribui para o atual estágio científico do remo. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema *stand-alone* para aquisição e armazenamento de dados biomecânicos do sistema barco-remador, bem como um sistema computacional para análise desses dados que permita sintetizá-los num relatório de acompanhamento. Para apresentação dos relatórios são propostas três ferramentas: os perfis de aceleração, as tabelas de índices médios e os gráficos de tendência. Quando utilizadas em conjunto, as ferramentas apresentadas possibilitam uma melhor avaliação do conjunto barco-remador, permitindo a criação de um histórico de coletas. Tal procedimento auxilia estudo e identificação de deficiências técnicas e tomadas de decisão sobre a realização de testes com sensores específicos. Todos os dados foram coletados com atletas da equipe principal do Clube de Regatas do Flamengo e corroboram com resultados encontrados na literatura mostrando que o sistema pode ser usado sem interferir em tais variáveis.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.).

OLYMPIC ROWING INSTRUMENTATION

Ana Carolina Schmidt Borges

June/2013

Advisors: Marcio Nogueira de Souza
Alexandre Visintainer Pino

Department: Biomedical Engineering

The lack of equipment providing objective data to evaluate the performance of athletes contributes to the current scientific state of rowing. This work presents the development of a stand-alone system that allows acquisition and storage of kinematic data related to rower-boat system, as well as a software for computational analysis of these data, synthesizing them into a monitoring report. For such reports are proposed three tools: acceleration profiles, tables and indexes average trend graphs. When used together, these tools allow a better assessment of the rower-boat system performance and the creation of a test historic. This procedure assists study and identification of technical deficiencies and the decision making about testing with specific sensors. All data were collected with athletes from Flamengo Rowing Club and corroborate similar findings in the literature showing that the system can be used without interfering on such variables.

Sumário

Capítulo 1 Introdução	1
1.1. Objetivos.....	2
1.1.1. Objetivo Geral	2
1.1.2. Objetivos Específicos	2
Capítulo 2 Fundamentos	3
2.1. Terminologia.....	3
2.2. O remo	4
2.3. O barco.....	5
2.4. A remada.....	9
2.5. Simuladores de Remo	11
2.5.1. Críticas aos Simuladores de Remo	13
2.6. Aquisição de Sinais para Remo Olímpico	15
2.7. Avaliação de Desempenho.....	18
2.8. Instrumentação para Avaliação de Desempenho no Barco	19
2.8.1. Medidas de Aceleração.....	20
2.8.2. Medidas de Velocidade.....	21
2.8.3. Medidas de Posição	21
2.8.4. Feedback	24
Capítulo 3 Revisão da Literatura sobre Instrumentação para Remo	27
3.1. Instrumentação para Remo	27
3.2. Instrumentação para Canoagem.....	32
3.3. Sobre a Apresentação dos Resultados	33
Capítulo 4 Materiais e Métodos.....	35
4.1. Descrição do <i>Hardware</i>	35
4.1.1. Sistema para Aquisição de Dados.....	35

4.1.2. Arquitetura do sistema	37
4.1.3. Sensores Externos	39
4.2. Descrição do <i>Firmware</i>	40
4.3. Descrição do <i>Software</i> de Processamento	40
4.3.1. Processamento dos Sinais	40
4.3.2. Filtragem dos Sinais de Aceleração do Barco (<i>Surge</i>)	42
4.4. Calibração dos Sensores Analógicos	44
4.4.1. Calibração dos Acelerômetros	45
4.4.2. Calibração dos Goniômetros Potenciométricos	46
4.5. Instalação do Sistema no Barco	47
4.6. Método de Avaliação	50
4.6.1. Frequência de Amostragem e Leitura do GPS	50
4.6.2. Testes de Bancada com o GPS	50
4.6.3. Filtragem dos Sinais de Aceleração	50
4.6.4. Acelerometria	51
Capítulo 5 Resultados	54
5.1. Testes e Condicionamento do Sistema	54
5.1.1. Frequência de Amostragem e Leitura do GPS	54
5.1.2. Desempenho do Sistema	56
5.1.3. Testes de Bancada com o GPS	57
5.2. Acelerometria	58
5.2.1. Análise dos Sinais de Acelerometria – Perfil de Voga	58
5.2.2. Análise dos Sinais de Acelerometria - Comparação entre Atletas ...	69
5.2.3. Acelerometria para o Dois Sem	77
5.3. Outros Sensores	78
5.3.1. GPS	78
5.3.2. Sensores Externos	80

5.4. Detecção de falhas técnicas	82
Capítulo 6 Discussão	84
6.1. Frequência de Amostragem e Leitura do GPS	84
6.2. Testes de Bancada com o GPS	84
6.3. Filtragem dos sinais	84
6.4. Análise dos Perfis Temporais de Aceleração	85
6.5. Tabelas de Índices e Relatórios de Acompanhamento	86
6.6. Avaliação das Ferramentas de Acompanhamento	90
Capítulo 7 Conclusão.....	94
Referências	96
Anexo A Descrição das modificações realizadas do firmware do <i>datalogger</i> .	100
I. Ferramentas	100
II. Funções Modificadas.....	101
III. Lógica de Operação.....	105
Anexo B Exemplo de Relatório de Acompanhamento	107

Capítulo 1

Introdução

Em termos desportivos, o Remo Olímpico é um esporte aquático que pode ser praticado em lagoas, rios ou em mar aberto; porém, também é considerado remo a prática do esporte em tanques ou simuladores.

O Remo¹ é um dos esportes mais antigos do mundo, estando presente nos jogos olímpicos desde 1900. Iniciado na Inglaterra em 1715 chegou ao Brasil muito mais tarde, com o Grupo Mareantes, em 1851 (Licht, 1986).

Apesar de ter a visibilidade reduzida devido à popularização de esportes como o futebol, por sua tradição, muitos estudos ainda vêm sendo conduzidos com o Remo em países como Itália, Alemanha, EUA, entre outros. Nestes estudos são utilizados como voluntários atletas de elite e amadores, visando-se conhecer os fatores que os diferenciam e que têm influência direta no desempenho destes indivíduos em treinos e competições.

A literatura científica relacionada ao Remo tem se concentrado em fatores fisiológicos, antropométricos e biomecânicos (Baudouin e Hawkins, 2002). Os fatores fisiológicos dizem respeito principalmente às características metabólicas dos atletas, como, por exemplo, o nível de lactato sanguíneo (Lormes *et al.*, 1993) e o VO_{2max} (Volianitis e Secher, 2009). Já os antropométricos têm como foco a estrutura corporal, sendo suas principais variáveis o peso, a altura e as dimensões dos principais segmentos corporais (Soper e Hume, 2004). As principais variáveis avaliadas em estudos biomecânicos são o deslocamento angular dos remos, as forças aplicadas, a velocidade e aceleração do barco e o movimento das articulações do remador (Kleshnev, 2006).

Este projeto é focado nos estudos biomecânicos do Remo, ou seja, nas características mecânicas da interação entre um sistema biológico, o remador, com um sistema físico, o barco.

Atualmente, os clubes brasileiros dispõem de poucos instrumentos para monitoramento das variáveis biomecânicas. Os mais comuns são aqueles que fornecem

¹ Neste trabalho o termo “Remo” será usado algumas vezes para designar o esporte remo olímpico.

uma medida em tempo real da quantidade de remadas por minuto (voga), velocidade média do barco e tempo de prova. Este tipo de equipamento é instalado diretamente no barco, onde o atleta recebe um *feedback* imediato sobre seu desempenho, podendo monitorar seu treino ou competição. No entanto, estes equipamentos fornecem uma visão muito restrita, pois geralmente armazenam poucos pontos por coleta, além de serem equipamentos importados e, algumas vezes, de alto custo.

Além da limitação dos equipamentos e dispositivos normalmente encontrados na prática desportiva do Remo, é quase inexistente o acompanhamento quantitativo periódico do desempenho dos atletas, exceto aquele feito visualmente pelo técnico e que poucas vezes é registrado para posterior comparação.

Pelas razões anteriormente apresentadas pode-se verificar a importância do desenvolvimento de um sistema para coletar informações biomecânicas capazes de aperfeiçoar a técnica de Remo dos atletas e que possa ser inserido na rotina de acompanhamento técnico. Para ser efetivamente usado em condições reais de treino ou competição, tal sistema deve respeitar os princípios de fácil e rápida instalação, além de não representar nenhum incômodo para o atleta a ser monitorado.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

Desenvolver um sistema *stand-alone* para aquisição e armazenamento de dados biomecânicos do sistema barco-remador, assim como criar um sistema computacional de análise desses dados que permita sintetizá-los num relatório de acompanhamento que possa ser usado pelo atleta e por seu treinador para aprimorar a técnica de remada.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Desenvolver o protótipo do sistema de aquisição de dados biomecânicos;
- Realizar testes com o sistema em bancada e na água;
- Desenvolver sistema computacional de análise, propondo índices e ferramentas para acompanhamento do desempenho dos atletas;
- Propor um modelo de relatório de acompanhamento.

Capítulo 2

Fundamentos

2.1. Terminologia

Remar é impulsionar um barco utilizando remos como alavanca. Para tal, é utilizada a força muscular de um ou mais remadores, sentados em bancos que se movimentam sobre trilhos, de costas para a direção do movimento e com os pés fixados em um suporte.

Os remadores e o timoneiro, quando presente, formam uma guarnição. O timoneiro é o único integrante da guarnição que não rema. Ele é responsável pelo controle do leme e por incentivar os atletas durante a prova.

A nomenclatura utilizada no Remo é a mesma utilizada para qualquer tipo de embarcação (Figura 1). A parte frontal do barco é a proa. Ela pode ser identificada como a primeira parte do barco a cruzar a linha de chegada. Esta denominação também é utilizada para identificar o remador número 1. A proa também pode ser identificada pela bola de proa, que é uma proteção de borracha colocada na ponta do barco com o objetivo de minimizar os efeitos de possíveis choques.

A parte traseira do barco é a popa, é geralmente onde o timoneiro está localizado. O remador mais próximo da popa é chamado de voga. Este remador é o que define o ritmo das remadas devendo ser acompanhado pelos demais. A este ritmo, ou seja, a quantidade de remadas por minuto, também é dado o nome de voga.

Os termos de navegação padrão também são utilizados para identificar o lado esquerdo e direito do barco. O lado esquerdo é chamado de bombordo e o direito de boreste. Em barcos de palamenta simples (um remo por remador), o remador de proa tem o seu remo virado para boreste e o remador de voga tem seu remo virado para bombordo (First and Third Trinity B. C., 2010).

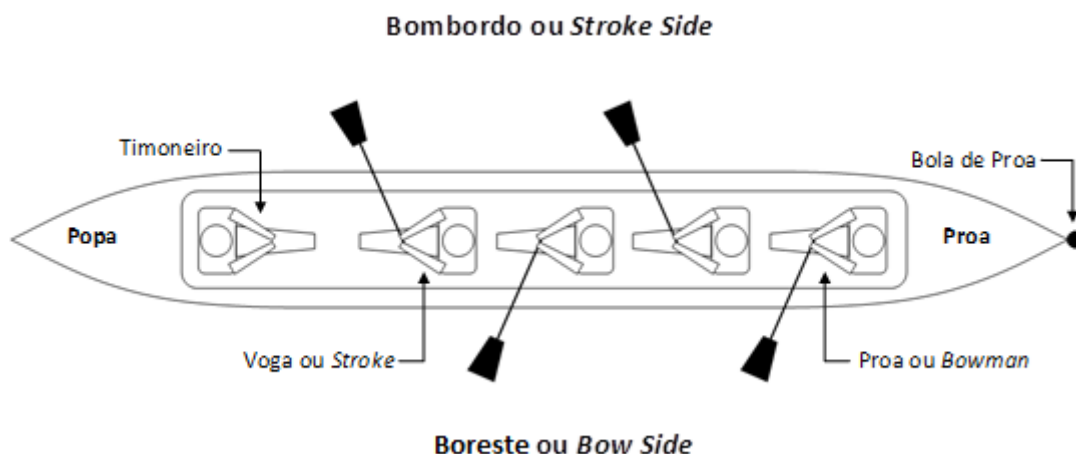


Figura 1 – Referências de um barco utilizado para a prática do Remo .

2.2. O remo

O remo é o equipamento utilizado para a propulsão do barco. Ele é uma peça geralmente feita de material sintético, como a fibra de carbono, para que seu peso seja reduzido. Apesar deste fato, não é incomum encontrar remos de madeira sendo utilizados por iniciantes, pois seu peso auxilia no equilíbrio do remador dentro do barco.

O tamanho e a forma do remo não são determinados pela FISA, mas o comprimento deste varia de acordo com a categoria do barco. Para o caso do *sweep* o comprimento médio do remo é 3,81 m, já para o *sculling* o comprimento médio é 2,98 m (The Official World Rowing Web Site, 2010).

A pá é a parte do remo que entra em contato com a água no momento da propulsão (Figura 2), ela é, normalmente, pintada com as cores da equipe para facilitar a identificação do barco à distância. O formato mais utilizado de pá é conhecido como *Cleaver*. Este formato foi introduzido no esporte em 1992 e é feito de fibra de vidro ou fibra de carbono, com o interior oco. Devido ao seu formato assimétrico, uma maior área da pá fica em contato com a água durante a remada permitindo que velocidades mais elevadas sejam alcançadas. O formato *Macon*, de 1960, era o mais utilizado até a introdução do *Cleaver*.

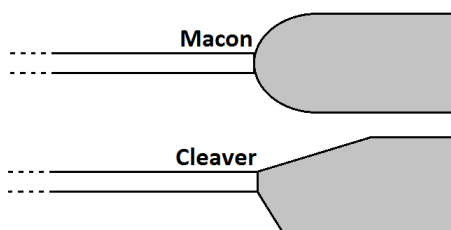


Figura 2 – Tipos de pá.

O sistema de alavanca formado pelos remos, tendo com ponto de apoio a forqueta, está representado na Figura 3. A força gerada pelos músculos do atleta é

aplicada na extremidade do braço interno e é transferida para as pás através do braço externo que, em contato com a água, impulsiona o barco para frente.

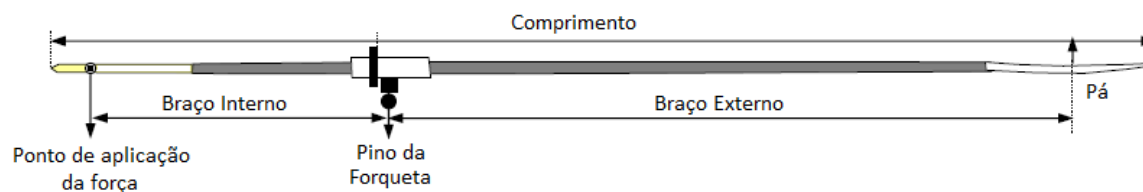


Figura 3 – Sistema de Alavanca composto pelo remo.

2.3. O barco

Há vários tipos de barcos, mas todos apresentam as mesmas características básicas, são longos, estreitos e com o casco em formato semicircular para diminuir o atrito com a água. Sua estrutura interna está ilustrada na Figura 4. Ela apresenta um assento que desliza sobre trilhos, chamado carrinho, onde o atleta senta de costas para a proa. Seus pés ficam presos a uma estrutura fixa, solidária ao barco, chamada de finca-pé. O remo é colocado em uma forqueta que pode girar mais de 180 graus e que configura o ponto de alavanca. Este padrão é repetido de acordo com a quantidade de remadores que o barco deve comportar (Freitas e Vieira, 2007).

Sendo assim, a diferença entre os barcos é definida pela quantidade de remadores, a existência ou não de um timoneiro e a posição dos remos. Para melhor discussão das configurações possíveis, os tipos de barco serão mostrados de acordo com a categoria a qual pertencem: remo de palamenta simples (*sweep*) e remo de palamenta dupla (*sculling*).

No remo de palamenta simples cada remador possui apenas um remo que é impulsionado com ambas as mãos. Essa categoria pode ser praticada em duplas, quartetos ou em grupos de 8 remadores. Uma particularidade dessa modalidade é que apenas nela pode haver um timoneiro. Na Figura 5 podem ser vistos os barcos desta categoria e suas características básicas.

No remo de palamenta dupla, cada remador possui um par de remos, um em cada mão. Esta modalidade é geralmente praticada em grupos de quatro, dois ou por apenas um remador. Na Figura 6 podem ser vistos os barcos desta categoria e suas características básicas.

Os barcos, remos e todo equipamento adicional são armazenados em uma casa de barcos ou garagem (*boathouse*). Estes espaços consistem de um galpão com suportes

especiais para os barcos instalados nas paredes e costumam estar localizados próximo ao local de treino (Figura 7).

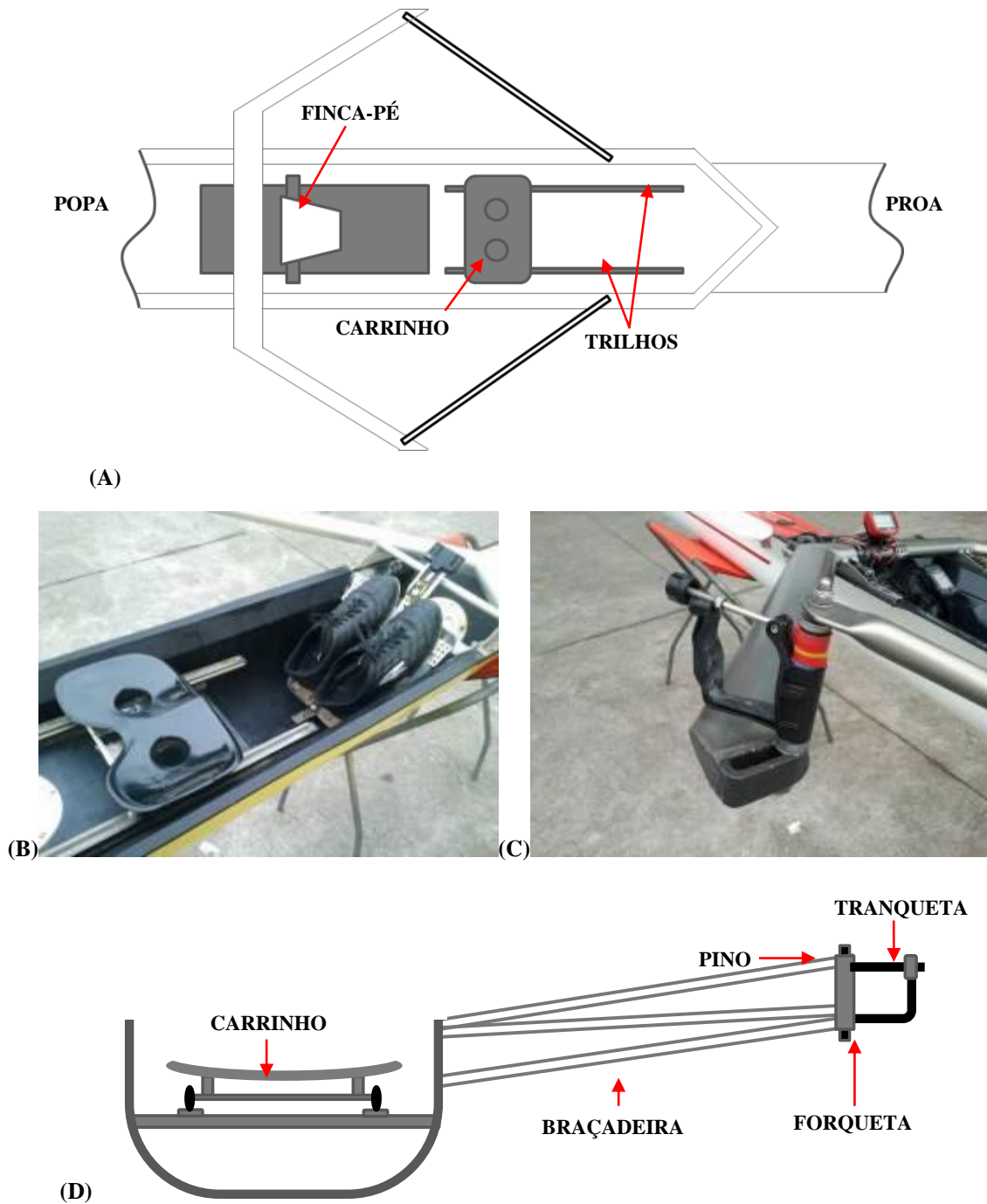
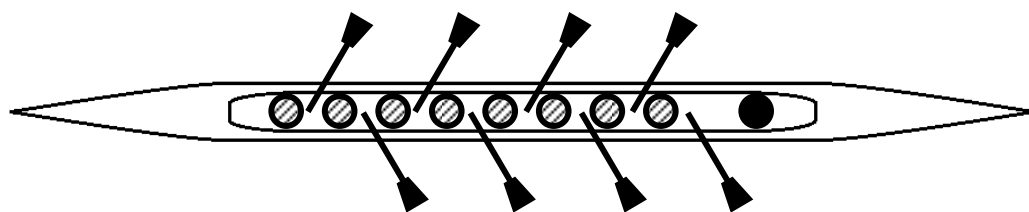
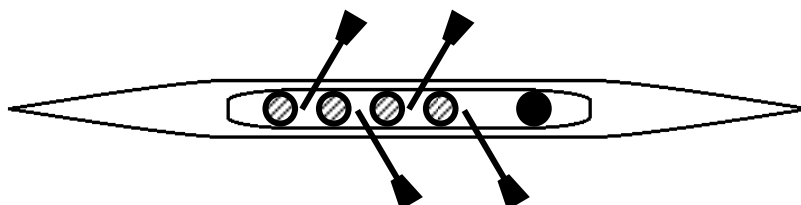


Figura 4 –Estrutura simplificada de barco utilizado para prática do Remo Olímpico e seus componentes. Nas fotos estão ilustrados o interior do barco (A e B) e a extremidade da braçadeira onde se encontra a forqueta (C e D).



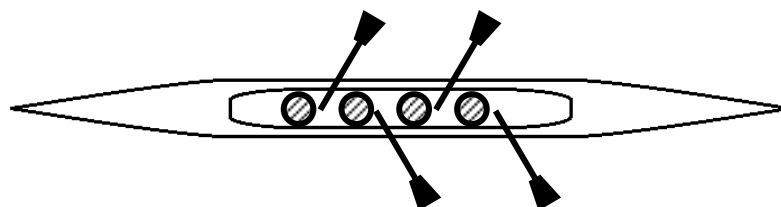
Oito com Timoneiro (Oito Com ou 8+)

Peso Médio: 96 kg / Comprimento Médio: 19,90 m



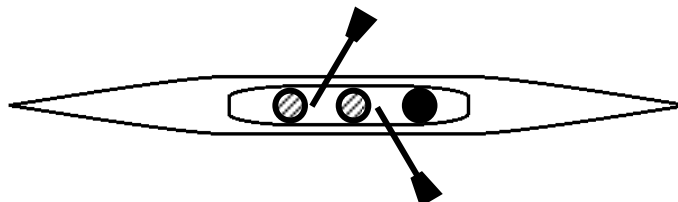
Quatro com Timoneiro (Quatro Com ou 4+)

Peso Médio: 51 kg / Comprimento Médio: 13,70 m



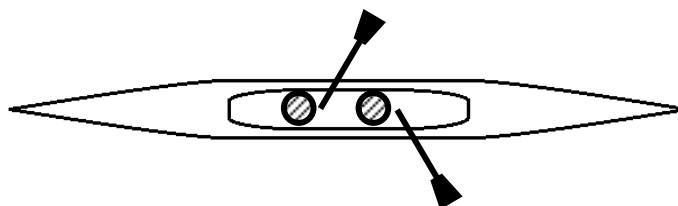
Quatro sem Timoneiro (Quatro Sem ou 4-)

Peso Médio: 50 kg / Comprimento Médio: 13,40 m



Dois com Timoneiro (Dois Com ou 2+)

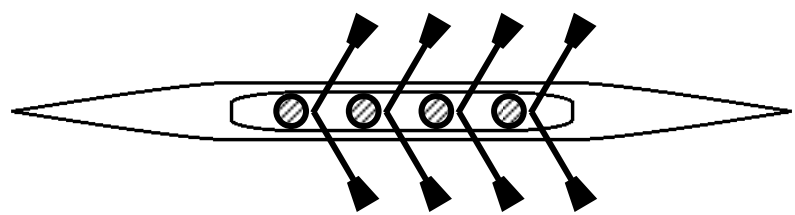
Peso Médio: 32 kg / Comprimento Médio: 10,40 m



Dois sem Timoneiro (Dois Sem ou 2-)

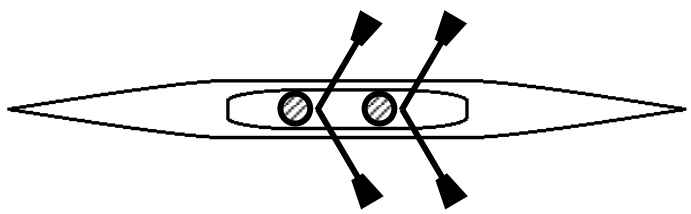
Peso Médio: 27 kg / Comprimento Médio: 10,40 m

Figura 5 – Barcos para remo de palamenta simples (*sweep*) e suas características. A proa dos barcos está a esquerda.



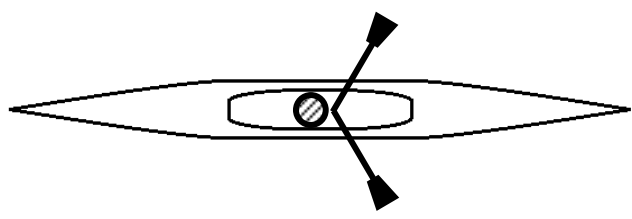
Four Skiff (4x)

Peso Médio: 52 kg / Comprimento Médio: 13,40 m



Double Skiff (2x)

Peso Médio: 27 kg / Comprimento Médio: 10,40 m



Single Skiff (1x)

Peso Médio: 14 kg / Comprimento Médio: 8,20 m

Figura 6 – Barcos para remo de palamenta dupla (*sculling*) e suas características. A proa dos barcos está a esquerda.



Figura 7 – Garagem do Clube de Regatas do Flamengo.

2.4. A remada

Em qualquer esporte relacionado ao ato de remar é necessária uma técnica que maximize a transferência da potência gerada pelo remador para a pá do remo com o mínimo de dissipação de energia. Esta técnica consiste num conjunto de movimentos executados ciclicamente, onde cada um desses ciclos representa uma remada. No Remo Olímpico um atleta realiza, em média, de 200 a 250 remadas em um percurso de 2000 m.

O primeiro movimento de uma remada é o *catch* ou ataque (Figura 8). Este é o ponto onde as pernas estão dobradas tal que o joelho está próximo do tórax, os braços estão completamente estendidos e o tronco está inclinado para frente. Este é também o momento em que a pá do remo entra na água.

Quando a pá entra na água na posição errada ou de forma muito profunda, ela pode ficar presa fazendo com que a extremidade interna² do remo atinja o tronco do remador. A este incidente se dá o nome de *crab* ou enforcamento e dele pode resultar a ejeção do remador para fora do barco.



Figura 8 – Catch ou Ataque.

A fase da remada que segue o *catch* é o *drive* ou fase de propulsão (Figura 9), que é a parte da remada onde as pernas aplicam pressão sobre o finca-pé (Figura 4) e os braços impulsionam o remo para trás fazendo com que o barco se desloque.



Figura 9 – Fase de propulsão ou Drive.

² Ponto onde o remador realiza a aplicação da força de propulsão. Alça. Manopla.

O final da fase de *catch* é demarcado pelo *finish* ou extração da pá (Figura 10). Este é o ponto onde o remador levanta os remos de forma que as pás deixem de ter contato com a água.



Figura 10 – *Finish* ou Extração.

A fase de *recovery* ou recuperação (Figura 11), iniciada após o remador remover os remos da água, é a fase o corpo está se reposicionando para realizar um novo *catch*, sendo assim, os braços são novamente estendidos, os joelhos flexionados e o tronco impulsionado para frente. Nessa fase as pás são mantidas paralelas à água de forma a reduzir a resistência do ar durante o movimento de retorno para a posição de *catch*.



Figura 11 – Fase de *recovery* ou recuperação.

Uma característica que pode ser observada durante a execução de cada uma das fases da remada é que cada atleta possui um padrão próprio de coordenação do tronco e dos membros inferiores. Este padrão influencia diretamente na potência gerada pelo atleta e, conseqüentemente, na propulsão do barco (Kleshnev, 2006).

Apesar de cada atleta possuir um padrão diferente, este é, normalmente, o resultado da combinação de um ou mais dos quatro estilos básicos (Figura 12).

O estilo Rosenberg é o mais tradicional e foi muito utilizado pela equipe dos EUA entre 1971 e 1976. Ele é caracterizado por uma ampla inclinação do tronco para frente no início da remada seguida por uma extensão de pernas sem muita movimentação do tronco. Ao final do movimento, o tronco se encontra em uma posição bastante inclinada para trás. O estilo DDR, que possui um padrão de movimentação corporal bem semelhante ao Rosenberg, se diferencia apenas pela temporização, já que

nele os membros se movimentam simultaneamente. O estilo DDR foi desenvolvido na Alemanha Oriental, que possuía a equipe mais bem-sucedida nos anos 70.

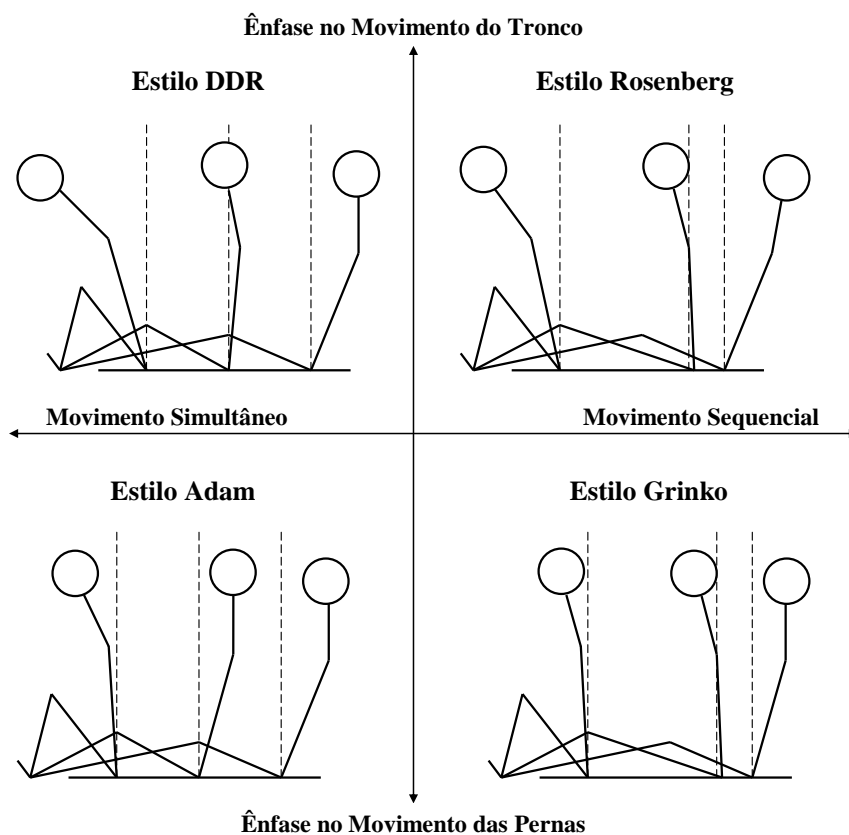


Figura 12 – Comparação entre os estilos de remada.

Os estilos Adam e Grinko apresentam uma maior ênfase no movimento das pernas e uma pequena amplitude de movimento do tronco. Estes também se diferenciam pela temporização do movimento, sendo o Adam sequencial e o Grinko simultâneo. O estilo Adam foi desenvolvido na Alemanha Ocidental um pouco antes do estilo DDR. Já o estilo Grinko recebeu este nome em homenagem ao técnico russo campeão mundial de 1990 e herda características da técnica utilizada pelos remadores da academia russa da década de 60.

2.5. Simuladores de Remo

Os remoergômetros são simuladores de Remo muito utilizados para treinamento de atletas, principalmente em países que, durante o período de inverno, o frio impede treinamentos externos, chegando a congelar a água.

Os primeiros remoergômetros surgiram em torno dos anos 50, mas só se popularizam nos anos 80 com o modelo norueguês Gjessing.

Em 1981, os irmãos Dreissigacker desenvolveram o Modelo A da Concept2 (empresa fundada por eles) que tinha a vantagem de ser bem mais barato que os

disponíveis na época, além de apresentar medidas consistentes, ou seja, era possível comparar os resultados obtidos com os de outras pessoas que utilizassem o mesmo equipamento.

Este modelo teve uma aceitação tão grande que em 1982 foi utilizado na primeira competição de Remo *Indoor*, a CRASH-B, em Boston (The Official World Rowing Web Site, 2010).

A estrutura da maioria dos remoergômetros é muito semelhante, eles possuem uma barra horizontal com trilhos por onde se desloca o carrinho, um finca-pé em uma das extremidades desta barra e um suporte de metal saindo da parte traseira do finca-pé, onde está instalada a roda responsável pela variação de resistência com uma corrente e uma alavanca (Figura 13). A resistência simulada pela roda pode ser de origem magnética, hidráulica ou simplesmente a resistência do ar.

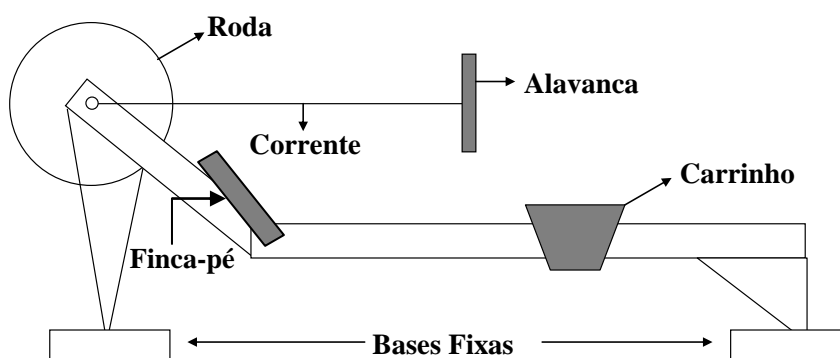


Figura 13 – Esquema de um remoergômetro.

Hoje os modelos mais utilizados são os à base de resistência do ar da Concept2 como ilustrado na Figura 14 (Boyas *et al.*, 2006). Foram lançados outros modelos após o Modelo A, onde as principais modificações foram a mudança da estrutura para alumínio, o que torna o equipamento mais leve, e a inclusão de um monitor de desempenho com interface digital, que fornece ao remador um *feedback* sobre força, voga, velocidade, calorias, frequência cardíaca, entre outros (Concept2 UK, 2010).



Figura 14 – Remoergômetro Concept2 utilizado para treinamento de atletas no Clube de Regatas do Flamengo.

2.5.1. Críticas aos Simuladores de Remo

Apesar de o remoergômetro ser uma ferramenta muito utilizada para condicionamento físico dos atletas, não foi encontrada equivalência entre o treinamento realizado nele e no barco. Torres-Moreno *et al.* (2000) compararam os padrões de remada de 44 atletas que treinavam em remoergômetro Concept2 com o padrão de remada na água de um campeão olímpico com 12 anos de experiência. Para tal, foram coletados dados referentes ao deslocamento angular das articulações, velocidade da alavanca e força de tração aplicada na alavanca. O autor argumenta que em vários aspectos o treinamento no remoergômetro se mostrou potencialmente prejudicial à técnica desenvolvida pelo atleta na água, no sentido de modificar os movimentos realizados, tornando-os menos eficientes e até mesmo prejudiciais à saúde do atleta.

Soper e Hume (2004) observaram inversões fora de fase do movimento das articulações ao final do *drive* e do *recovery*, indicando baixo controle postural. Esta falta de sincronia nos movimentos das articulações, principalmente dos quadris e joelhos, pode causar uma sobrecarga na região lombar, levando o atleta a sérias lesões. Neste estudo a articulação do joelho também apresentou oscilações no final do *drive* que podem ocasionar a diminuição da amplitude da remada e, conseqüentemente, do tempo de aplicação da força. Para compensar este fato o atleta aumenta sua voga, que se não for mantida o mais constante possível, pode comprometer a eficiência de sua remada, pois aumenta as forças de oposição ao movimento, causando a redução da velocidade média do barco.

Nestas pesquisas, ocorreram também variações verticais da alavanca durante o *drive*, que se ocorressem com os remos afetariam a profundidade alcançada pela pá na

água, diminuindo a impulsão do barco. Houve também a diminuição do tempo de *recovery*, para que vogas mais elevadas fossem alcançadas, desrespeitando a razão *drive/recovery* de 1:2 considerada ideal por Redgrave (1995). Esta razão diminui as flutuações de velocidade, resultando no desenvolvimento de potências mais elevadas, enquanto permite que haja um tempo para descanso entre as remadas.

Baca *et al.* (2006) também mostraram que há diferenças no padrão de aplicação da força no finca-pé, quando comparados os exercícios em remoergômetro e barco. Uma forma de aproximar este padrão é a utilização de remoergômetros com *slides* (versão adaptada sobre trilhos). Neste caso o remador desacelera o equipamento e não seu próprio corpo, fazendo com que o movimento se aproxime mais do realizado no barco.

Alguns autores também sugerem o remoergômetro *RowPerfect* (RowPerfect, 2013) como a melhor alternativa para o treino em simuladores (Elliott *et al.*, 2002, Rekers e Esch, 1993). Este ergômetro possui a roda e o finca-pé móveis, no intuito de melhor simular as forças inerciais que se opõem ao movimento durante a prática na água (Soper e Hume, 2004). Em contrapartida, Kleshnev (2005) mostra que, apesar do *RowPerfect* simular com precisão a desaceleração do barco no final do *catch*, a força aplicada na alavanca, tanto no ergômetro da Concept2 quanto no *RowPerfect*, foi entre 30 e 40% maior que a aplicada no remo. Ele argumenta, também, que devido às diferenças estruturais apresentadas por ambos os ergômetros (sistema de alavanca central), a força de propulsão se mantém constante, enquanto no barco ela varia de acordo com o ângulo do remo em relação ao casco.

Além das diferenças entre a aplicação da força e os movimentos realizados, James *et al.* (2004) também discutem as diferenças ambientais. No Remo *indoor*, o atleta se encontra em um ambiente controlado, com temperatura aproximadamente constante, sem influência da variação das correntes, da velocidade e da direção do vento, sendo estes fatores considerados determinantes de desempenho em provas ao ar livre (Li *et al.*, 2007).

Os tanques são uma alternativa ao uso dos remoergômetros. Eles são grandes piscinas com uma estrutura que simula um barco fixo em seu centro onde os remadores podem realizar os movimentos exatos do Remo tradicional (Figura 15).



Figura 15 – Tanque de Remo do Clube de Regatas do Flamengo utilizado para treinamento e formação de novos remadores.

Esta abordagem elimina as diferenças na mecânica dos movimentos e a dificuldade de ter um simulador que permita a avaliação de vários remadores como uma equipe (o remoergômetro comporta apenas um atleta). Mesmo assim alguns treinadores apontam diferenças entre o tanque e o barco, pois na água, durante o *recovery*, o barco deve passar por baixo do remador e isto não é possível no tanque. O principal fator que impede esta substituição é o custo elevado inerente à construção e manutenção destes tanques (Soper e Hume, 2004), o que implica em nem todas as equipes terem este tipo de estrutura disponível.

2.6. Aquisição de Sinais para Remo Olímpico

Segundo Mattes e Schaffert (2010) A aceleração do barco, a velocidade do barco e a voga são as variáveis mais importantes para a análise do movimento do barco. A aceleração traduziria a ação de todas as forças externas ao sistema (aerodinâmica e arrasto) em conjunto com aquelas geradas pela ação dos músculos do(s) remador(es); enquanto a velocidade representaria o desempenho alcançado na prova.

Sendo assim, para possibilitar o máximo desempenho de um atleta o objetivo é que velocidades mais elevadas sejam alcançadas durante a competição. Além de maximizar a velocidade, também é necessário que esta seja mantida o mais constante possível durante a remada para minimizar os efeitos das forças de atrito da água, que aumentam proporcionalmente ao quadrado da variação de velocidade do barco (Soper e Hume, 2004).

Vários fatores têm influência sobre a velocidade, como o condicionamento físico e o nível técnico. Atletas que apresentem baixo condicionamento físico, em vogas mais altas podem não conseguir sustentar o movimento, alcançando rapidamente a fadiga muscular. Além disso, atletas com um padrão muito irregular de remada, quando

comparados a atletas que possuem um padrão mais consistente, apresentam uma velocidade média do barco reduzida (Baudouin e Hawkins, 2002).

Considerando que um remador de elite completa um percurso de 2000 m em 6,0 min e um remador regular completa o mesmo percurso em 9,0 min, velocidades típicas para um barco de Remo estariam na faixa de 3,5 m/s à 5,0 m/s.

Apesar de a velocidade ser a variável que expressa diretamente o desempenho do remador, são mais comuns sistemas que realizam a aquisição da aceleração do barco. A Figura 16 ilustra o padrão de aceleração ideal para um barco de Remo defendido por Young e Muirhead (1991). Neste padrão estão previstas duas fases para a remada, uma fase positiva representada pelo *drive* e uma fase neutra representada pelo *recovery*. Em sinais reais, também é observada uma fase negativa de transição entre o *drive* e *recovery*, provocada pela inserção da pá na água que, em um modelo ideal, seria melhor representada por um pulso negativo.

A partir do sinal de aceleração é possível obter a informação de voga instantânea medindo-se o intervalo de tempo entre dois picos negativos consecutivos (Llosa et al., 2009).

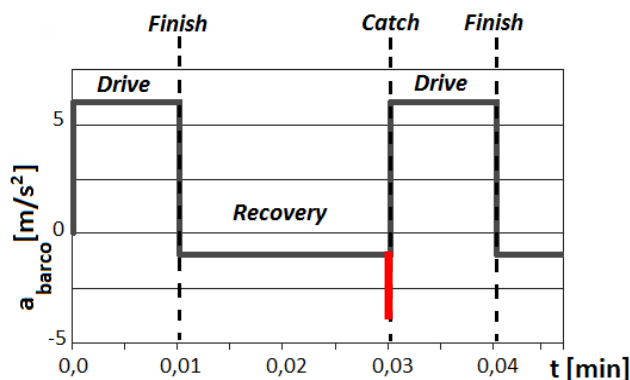


Figura 16 - Padrão de aceleração ideal defendido por Young e Muirhead (1991) com representação da fase negativa da remada (pulso vermelho).

Sobrepondo o modelo ideal ao sinal real de um atleta medalhista olímpico é possível perceber o modelo modificado se aproxima melhor da divisão de fases presente em uma remada, ratificando a presença da fase negativa (Figura 17).

Mesmo assim, é importante destacar que no sinal real não serão observados dois patamares de aceleração bem definidos como no modelo, isso se justifica pelo fato de o aleta não ser capaz de acelerar e desacelerar o barco instantaneamente. Além disso, o pico negativo não será um pulso ideal conforme ilustrado, será observada uma desaceleração brusca ao final do *recovery* e, pouco antes do barco atingir sua desaceleração máxima, é iniciada uma nova fase de *drive*, forçando uma rápida

aceleração do sistema no sentido de vencer a aceleração negativa imposta pela inserção da pá na água.

A análise do padrão de remada de atletas de elite também pode fornecer um parâmetro de comparação para auxiliar novos remadores, atletas e técnicos a conhecer e identificar os pontos fracos e fortes de cada técnica (Soper e Hume, 2004).

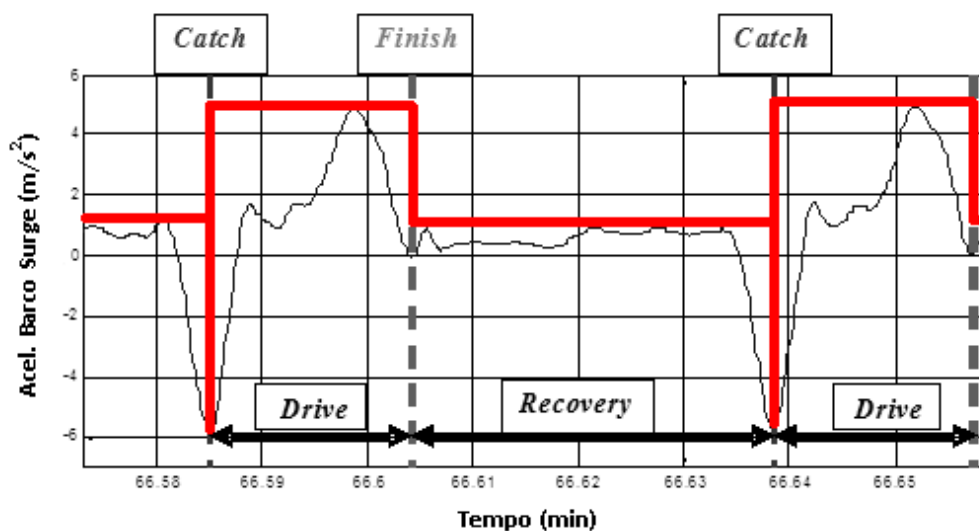


Figura 17 - Sinal de aceleração real de um medalhista olímpico sobreposto ao modelo ideal defendido por Young e Muirhead (linhas em vermelho) .

O modelo apresentado sugere apenas um formato para o sinal de aceleração sem levar em consideração o aspecto temporal dos sinais bem como os valores de aceleração característicos de cada fase. Sinais típicos de aceleração de um *single skiff* estão na faixa de +8 m/s² (pico de aceleração no *drive*) a -15 m/s² (pico de frenagem no *recovery*).

Em relação à divisão temporal, alguns trabalhos (Torres-Moreno *et al.*, 2000, Soper e Hume, 2004) citam a proporção ideal sugerida por Redgrave (1995) como referência. Esta proporção sugere que a fase de *recovery* deve apresentar o dobro do tempo da fase de *drive* para que o atleta garanta um tempo de recuperação adequado entre fases ativas.

Além das variáveis referentes à cinemática do barco, alguns trabalhos indicam o deslocamento do tronco (Kleshnev, 2004) e o deslocamento do carrinho (Bettinelli *et al.*, 2010, Kleshnev, 2004, Smith e Loschner, 2002) como variáveis importantes.

Também são encontradas referências à amplitude da remada em trabalhos que visam uma análise mais completa do padrão de remada (Pilgeram e Delwiche, 2006, Bettinelli *et al.*, 2010). Esta variável pode ser um indicador de performance do atleta, tanto através da comparação com um padrão ideal, como o sugerido por Llosa *et al.*

(2009) e apresentado na Figura 18, quanto da comparação com o padrão do próprio atleta em diversas vogas.

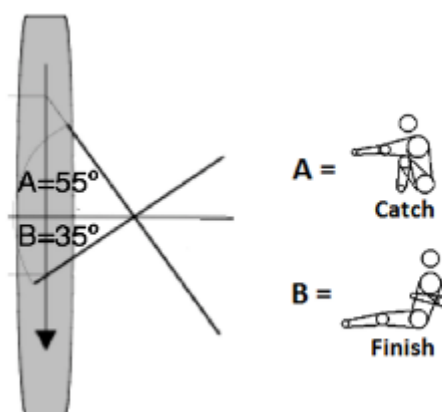


Figura 18 – Amplitude ótima de uma remada. Ponto A (55°) - Ângulo inicial do *Catch*. Ponto B (35°) - Ângulo final do *Finish*.

2.7. Avaliação de Desempenho

Com o desenvolvimento das tecnologias de acompanhamento esportivo, atletas e técnicos estão constantemente buscando novos métodos para avaliação e acompanhamento de desempenho (Llosa *et al.*, 2009). A combinação de força e técnica dos atletas é muito importante, pois o deslocamento do barco depende diretamente da eficiência da transmissão de forças geradas pelo atleta para a pá; sendo assim, quanto maior a força e a parcela aproveitada desta, maior o deslocamento que cada remada gerará (Pilgeram e Delwiche, 2006).

Muitas vezes a avaliação de desempenho dos atletas é feita através de testes de levantamento de peso, testes aeróbicos e, na maioria das vezes, de seus resultados no remoergômetro (Pilgeram e Delwiche, 2006).

A questão é que um atleta não pode ser avaliado apenas através de seu desempenho físico, e o remoergômetro não fornece um meio completamente confiável de avaliação da técnica devido à diferença dos movimentos em relação ao Remo tradicional na água (Bettinelli *et al.*, 2010).

Ainda são poucos os sistemas voltados especificamente para avaliação de desempenho de remadores que, na maioria das vezes, ainda é feito de forma visual pelo técnico durante os treinos, ou através das impressões do próprio atleta sobre a sua técnica (Llosa *et al.*, 2009). O desenvolvimento de um sistema de monitoramento capaz de fornecer informações objetivas sobre o desempenho de um atleta pode ser uma ferramenta muito útil em diversas situações como: identificação do padrão de remada e

comparação de padrões entre atletas de diversas categorias (Soper e Hume, 2004), composição de equipes com atletas física e tecnicamente compatíveis (Baca e Kornfeind, 2008), além do acompanhamento da eficiência de programas de treinamento específicos (Bettinelli *et al.*, 2010).

Sendo assim, são desejáveis sistemas que colem informações objetivas que possam ser usadas para a avaliação de desempenho dos atletas, que possibilitem a coleta simultânea de indicadores de força e técnica sob condições reais, ou seja, durante o treinamento na água, com os mesmos equipamentos utilizados em competições e sem eliminar por completo a influência das condições ambientais. As informações coletadas podem ser referentes à cinemática do sistema barco-remador, à fisiologia do remador, às condições ambientais em que o experimento está sendo realizado, às características estruturais do barco, entre outras (Baudouin e Hawkins, 2002).

2.8. Instrumentação para Avaliação de Desempenho no Barco

O acompanhamento com registro visual foi o primeiro método a ser utilizado e era a única forma de coleta de dados permitida durante competições (Kleshnev, 2004). Nele o remador é filmado durante o percurso e desta filmagem é gerado um videograma, ou seja, uma reconstrução quadro a quadro do vídeo contendo a progressão do barco na prova e a sequência de movimentos executados pelo atleta.

Uma alternativa para o monitoramento dos atletas são os métodos de contato. Por utilizarem sensores instalados diretamente no objeto sendo monitorado, estes métodos apresentam maior exatidão, além de permitirem a medida de outras grandezas como força e condições ambientais (temperatura, umidade, etc.). Isto só se tornou possível com o desenvolvimento de sensores menores e mais leves, diminuindo sua influência na dinâmica do sistema.

Em ambos os casos, o posicionamento dos sensores deve ser objeto de estudo. Se eles representarem um incômodo, o atleta pode não realizar os movimentos da mesma forma que em uma situação sem monitoramento. Além disso, deve ser feita uma fixação que minimize as flutuações de posição resultando em medidas incorretas.

A seguir serão apresentados alguns tipos de sensores que podem ser utilizados para medição das grandezas relacionadas a cinemática do barco, objeto de estudo deste trabalho.

2.8.1. Medidas de Aceleração

O acelerômetro, como o próprio nome indica, é um tipo de sensor próprio para medir aceleração. A forma mais comum de acelerômetro comercial é o do tipo capacitivo (Figura 19).

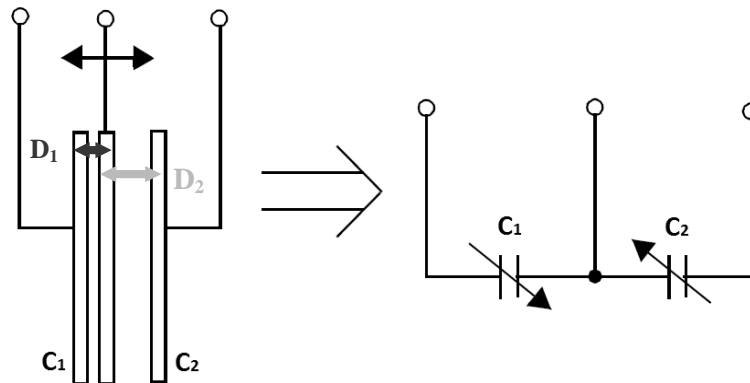


Figura 19 – Esquema simplificado de um acelerômetro capacitivo.

Sua estrutura é composta por três placas, sendo que a central é móvel, formando dois capacitores variáveis. Quando o sistema é submetido a uma aceleração, a placa central se move entre as placas das extremidades e esta movimentação provoca a mudança do valor das capacitâncias C_1 e C_2 . As Equações 1 e 2 mostram como é feito o cálculo das capacitâncias em cada intervalo de tempo, onde A é a área das placas, D_1 e D_2 são as distâncias entre cada placa lateral e a placa central e ϵ é a constante dielétrica do meio. O valor da distância entre as placas é proporcional à variação de aceleração.

$$C_1 = \frac{A\epsilon}{D_1} \quad (1)$$

$$C_2 = \frac{A\epsilon}{D_2} \quad (2)$$

Em estudos voltados para o Remo Olímpico, este sensor vem sendo frequentemente empregado para análises biomecânicas do movimento humano e para acompanhamento do movimento do barco. Para a segunda aplicação, a faixa de operação mais adequada para para os sensores é a de $\pm 2g$ (Burbanks, 2009, Mattes e Schaffert, 2010), onde g é a aceleração da gravidade.

Colocar aqui os problemas de drift, contaminação do sinal, aceleração estática e de como isto impede a medida de velocidade e posição

2.8.2. Medidas de Velocidade

Medidas de velocidade do barco podem ser obtidas diretamente através de sistemas que empregam hélices, turbinas ou *impellers* (Figura 20). Nestes casos o elemento sensor pode ser conectado diretamente a um gerador de corrente contínua ou pode ser utilizado para produzir um pulso elétrico a cada volta completa. Para o segundo caso, uma eletrônica adicional deve ser utilizada para contagem dos pulsos e sua conversão em uma informação de velocidade.



Figura 20 – Impeller - Sensor para medida de velocidade. Imagem gentilmente cedida por Peach Innovations (2010).

Sistemas baseados em *impellers* são muito simples e robustos e por isso seu emprego é muito comum. Em contrapartida, a resposta em frequência do sistema não é das melhores.

Além disso, a instalação do *impeller* não é simples, sendo necessário que haja alguém especializado para realização da tarefa, o que pode demandar um tempo que represente um fator impeditivo para a utilização do sistema, principalmente se o objetivo for monitorar mais de um barco durante um dia de treinamento.

Uma solução seria haver um barco especialmente designado para a instalação do equipamento, o que obrigaria alguns atletas a remarem em um barco fora de sua categoria, ou a se perder tempo personalizando toda a regulagem do barco.

De um modo geral, a instrumentação permanente é a melhor opção quando se desejada maior exatidão nas medidas (Smith e Loschner, 2002), mas a mudança de ambiente para alguns atletas pode influenciar de forma negativa seu desempenho, principalmente em remadores de alto rendimento (Bettinelli *et al.*, 2010).

2.8.3. Medidas de Posição

Outra forma de monitorar objetos em movimento no espaço é através de um GPS (*Global Positioning System*). Com este sensor é medido diretamente o deslocamento do objeto e, em alguns dos casos, sua velocidade, sendo apenas a aceleração obtida através de derivação ou acelerometria. Seu princípio de funcionamento é baseado no cálculo da posição de um objeto comparando o tempo que uma mensagem transmitida por um satélite leva para chegar ao receptor. Combinando

as informações medidas por, pelo menos, três satélites, o sistema é capaz de realizar uma triangulação e fornecer as três coordenadas espaciais (x, y e z) do objeto monitorado.

O protocolo de comunicação comumente utilizado por sistemas GPS é o NMEA 0183, desenvolvido pela *National Marine Electronics Association*, que utiliza como padrão elétrico o EIA RS-422. Uma mensagem típica deste padrão apresenta o formato mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Exemplo – Decomposição de mensagem do padrão NMEA 183 em seus diversos elementos: \$GPGGA,122604.826,2258.69802,S,04313.07742,W,1,03,3.2,6.31,M,-6.19,M,,0000*42

Campo	Conteúdo	Significado
Mensagem	GGA	Global Positioning System Fix Data
Hora	122604.826	12h 26min 04.826s UTC
Latitude	2258.69802	22° 58,69802'
Direção	S	Sul
Longitude	04313.07742	43° 13,07742'
Direção	W	Oeste
Fix Quality	1	0 = Inválido, 1 = GPS, 2 = DGPS
Satélites	03	Quantidade de satélites sincronizados
HDOP	3.2	Exatidão relativa da posição horizontal
Altitude	6.31	Altitude em relação ao nível do mar
Unidade	M	Metros
WGS84 Height	-6.19	Altura do geóide acima do elipsóide WGS84
Unidade	M	Metros
DGPS	-	Tempo desde a última transmissão DGPS
	-	Identificador da estação DGPS
Checksum	0000*42	Valor para verificação da integridade da mensagem

Para a escolha do GPS o mais importante é a definição da frequência de atualização. A aplicação mais comum de sistemas GPS é a automobilística, que utiliza

uma taxa de atualização de 1 Hz. Para aplicações navais, já estão disponíveis sistemas que chegam a 100 Hz, porém com custo elevado.

Quanto maior a taxa de atualização mais vezes por segundo será amostrada a posição do objeto monitorado e mais dados o sistema terá que processar e armazenar. Em aplicações embarcadas esta grande quantidade de dados pode ser um fator limitador, pois há uma taxa máxima em que os dados coletados são lidos da memória temporária para a memória não volátil. Sendo assim, esta frequência deve ser calculada de forma que não haja perda de dados, tanto por falta de memória como pela perda de harmônicos devido à baixa frequência de aquisição.

Outro fator muito importante para escolha do GPS é a exatidão, ou seja, a diferença entre a posição fornecida e a posição real. Em geral, a exatidão destes sistemas é da ordem de 10 m, mas como o menor barco de Remo mede aproximadamente 8,2 m, a exatidão típica seria da ordem de um barco, ou seja, um barco que acabou de cruzar a linha de chegada pode estar ainda a 10 m dela. Sendo assim, em sistemas com exatidão aprimorada (em geral 3 m), se o sensor for posicionado no centro do barco, é possível garantir que a posição medida sempre representará um ponto dentro dos limites do mesmo. Associada a exatidão também deve ser observada a precisão da medida. Normalmente a precisão é dada em termos de um círculo, centrado em torno da média, onde é esperado que estejam 50% dos valores medidos. Esta precisão é denominada CEP (*Circular Error Probability*) e, assim como a exatidão, deve ser pequena.

Para testar a confiabilidade das medidas há um parâmetro conhecido como HDOP (*Horizontal Dilution Of Precision*). Este parâmetro representa o efeito da geometria dos satélites sobre a exatidão das coordenadas geográficas. Se os satélites que estão sincronizados com o dispositivo estão muito próximos, a triangulação pode apresentar um erro muito grande (Figura 21) O HDOP pode assumir valores desde 1 (ideal) até valores maiores que 20. Quanto menor seu valor, melhor será a confiabilidade da medida.

Para garantir, por exemplo, uma exatidão de posição geográfica de 2,5 m CEP os dados do GPS devem apresentar $HDOP \leq 3$.

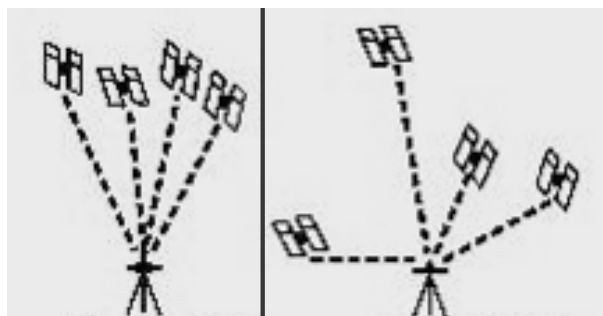


Figura 21 – Triangulação com 4 satélites para medida de posição. Na situação da direita o valor do HDOP será menor, representando uma medida com maior exatidão.

Para a velocidade, a exatidão fornecida pela grande maioria dos GPS é de 0,1 m/s. Este valor representa um erro menor que 5% da velocidade média em uma regata que é da ordem de 5,0 m/s.

A quantidade de canais não é um fator de muita relevância, pois a maioria dos GPS apresenta possibilidade de conexão com pelo menos 32 satélites simultaneamente. Como há apenas 24 satélites disponíveis para este serviço e no máximo 12 podem ser utilizados ao mesmo tempo, sempre haverá canais ociosos. Além disso, o Remo é um esporte praticado ao ar livre, ou seja, em locais que permitem visada direta do céu sem obstruções.

Aquisições com GPS durante competições já são realizadas pela FISA. Estas informações são utilizadas para acompanhamento dos barcos durante a corrida e são disponibilizadas na página oficial da federação após o evento (The Official World Rowing Web Site, 2010).

2.8.4. Feedback

O aprendizado motor de um movimento desportivo pode se tornar mais eficaz se o indivíduo a ser treinado dispuser de informações que o permitam ter consciência de seus erros, aprendendo a corrigi-los, criando assim um sistema de retroalimentação ou *feedback*. O *feedback* pode ser considerado uma parte importante do processo de aprendizado motor, pois é através dele que o indivíduo toma consciência do próprio desempenho, permitindo a identificação de qualidades e deficiências, o aumento da autoconfiança e o aprimoramento da percepção de equipe. Quando associado a um histórico individual fornece um modo eficaz de se acompanhar estratégias de treinamento, sejam elas corretivas ou não.

No método tradicional de acompanhamento de treinamento o técnico recebe todas as informações e decide se algo precisa ser modificado. Ou seja, no caso do Remo há duas situações: na primeira as informações são processadas após o treino para uma

análise do percurso, por completo ou de trechos isolados; e na segunda, as informações são processadas em tempo real e observadas pelo técnico, que pode acompanhar o treinamento passando instruções para o remador, conforme a necessidade.

O método tradicional tem a vantagem de não desconcentrar o remador durante o treino e não modificar o método de *feedback* já utilizado pelo mesmo. Apesar disso, ele apresenta um atraso muito grande entre a percepção do problema e a ação do remador.

Para diminuir este atraso foram desenvolvidas algumas formas de *feedback* imediato, ou seja, as informações são exibidas diretamente para o atleta. O *Speed-Coach* e o *Stroke-Coach* (Figura 22) são exemplos de equipamento que utilizam este tipo de *feedback*. Eles são pequenos monitores instalados em um suporte preso ao finca-pé que fornecem informações sobre voga, tempo de prova e, no caso do *Speed-Coach*, velocidade do barco e distância percorrida. Devido à forma simples e direta com que as informações são apresentadas, a aceitação destes equipamentos foi muito grande e hoje eles são utilizados pelos atletas em treinos e competições.



Figura 22 – Interfaces do (a) Speed-Coach e do (b) Stroke-Coach disponíveis para a utilização dos atletas da equipe de Remo do Clube de Regatas do Flamengo.

Outro exemplo de equipamento com *feedback* imediato pode ser encontrado no BioRow (BioRow, 2012) apresentado na Figura 23. Nele o remador usa uma espécie de óculos onde são projetadas informações sobre o treino e uma avaliação de seu desempenho. O conceito é similar ao do *Speed-Coach*, mas ele tem a desvantagem de obrigar o remador a vestir o equipamento podendo causar algum desconforto durante o teste. Neste equipamento em especial há outra opção de *feedback* imediato através de um sistema de luzes, onde o remador recebe uma avaliação sobre uma característica específica pré-programada pelo técnico no equipamento.



Figura 23 – Instrumentação comercial com sistema de telemetria e sistema de luzes para *feedback* imediato BioRowTel v4.0. Imagem gentilmente cedida por BioRow, 2012.

Sistemas de acompanhamento apresentados em alguns trabalhos mais atuais têm se concentrado apenas em monitorar o atleta, sem se preocupar com *feedback* imediato (Mattes e Schaffert, 2010, James *et al.*, 2004, Llosa *et al.* 2009); isto é, sem fornecer para o indivíduo informações atuais sobre a sua performance e que poderiam ser usadas para que o mesmo se corrigisse. Isto se explica pela tentativa de evitar uma mudança muito acentuada no ambiente que o indivíduo está acostumado.

Capítulo 3

Revisão da Literatura sobre Instrumentação para Remo

Neste capítulo será apresentado o resultado da revisão bibliográfica sobre instrumentação para Remo. Serão apresentados estudos dedicados ao desenvolvimento de equipamentos para medição posicionados diretamente no barco, conhecidos como *on-water instrumentation*.

Apesar da abordagem *dry-land* (em simuladores) possibilitar a fácil integração da instrumentação, por serem equipamentos estáticos utilizados para treinamento *indoor*, todos os fatores discutidos anteriormente apontam para a instrumentação *on-water* como a melhor solução para acompanhamento e avaliação dos atletas. Isso se justifica principalmente pela realização dos testes diretamente no equipamento utilizado em competições e em condições ambientais reais.

3.1. Instrumentação para Remo

Já existem equipamentos comerciais que têm como objetivo o monitoramento do desempenho dos remadores em treinos na água, tais como o *RowX Outdoor* (WEBA Sport, 2010), o *Power Line Rowing Instrumentation* (Peach Innovations, 2010) e o *BioRowTel* (BioRow, 2012). Estes equipamentos são capazes de monitorar a força aplicada e o deslocamento angular dos remos, velocidade e aceleração do barco e, no caso específico do *BioRow*, integrar diversos outros sensores adicionais.

Estes sistemas (WEBA Sport, 2010, Peach Innovations, 2010) utilizam forquetas instrumentadas (Figura 24) para medição da força aplicada individualmente em cada remo, assim como o seu deslocamento angular. O *RowX* utiliza um acelerômetro e um *impeller* para medida de aceleração e velocidade do barco, respectivamente; enquanto o *Power Line* utiliza apenas o *impeller* para ambas as medidas. Já o *BioRow* utiliza um acelerômetro e um GPS para aquisição das mesmas informações.



Figura 24 – Forqueta modificada para medida de força e posição angular dos remos. *Power Line Rowing Instrumentation*. Extraído de Peach Innovations (2010).

Mesmo com a qualidade superior da medida realizada com instrumentos permanentes, como a forqueta instrumentada e o *impeller*, as dificuldades de instalação e as mudanças de ambiente impostas aos atletas (obrigados a trocar de barco para usar a instrumentação) tem levado ao desenvolvimento de um sistema que tenha um equilíbrio entre as demandas por portabilidade e exatidão de medida, onde o foco principal é a obtenção de um equipamento que possa ser rapidamente instalado pela própria equipe técnica, além de não interferir no comportamento normal do atleta.

Um dos principais exemplos neste sentido é o trabalho de Mattes e Schaffert (2010), onde foi desenvolvido um sistema para acompanhamento *on-water* denominado “Accrow” (*acceleration + rowing*). O sistema foi capaz de registrar a velocidade e a aceleração do barco, além da distância percorrida durante a prova. As informações de velocidade e distância foram obtidas através de um GPS com taxa de atualização de 4 Hz, que tem a vantagem de não causar forças resistivas adicionais como é o caso do *impeller*, utilizado pela maioria dos sistemas comerciais. A resolução do sistema para medida da velocidade foi de 0,1 m/s. A aceleração do barco foi obtida através de acelerometria. O acelerômetro utilizado apresenta faixa de operação de $\pm 2g$ e sua saída foi amostrada a uma taxa de 50 Hz.

No trabalho de Mattes e Schaffert (2010) todos os dados foram armazenados em um cartão SD para posterior processamento em software especialmente desenvolvido para a aplicação, denominado “Regatta”. Foram analisados os sinais de velocidade, voga, pico de aceleração, distância percorrida, número de remadas e tempo de prova.

Os resultados gerados pelo *software* Regatta são tabulados e exportados para uma planilha na forma de índices médios (tempo, voga, deslocamento, quantidade de remadas e velocidade) para cada uma das provas. As provas podem ser detalhadas em outra tabela específica com os índices médios a cada trecho de 250 m.

Outro exemplo de sistema portátil foi apresentado no trabalho de James *et al.* (2004), composto por um acelerômetro triaxial, GPS e uma conexão externa para *impeller*. As especificações dos sensores não foram apresentadas. Os dados analógicos foram amostrados a uma taxa de 250 Hz ou superior por um microprocessador de 16 MHz com sistema operacional personalizado. O objetivo principal do trabalho foi o desenvolvimento de uma plataforma modular para acompanhamento *on-water* que possibilitasse a extração de informações úteis para a equipe técnica, proporcionando condicionamento básico para os sinais, armazenamento e a possibilidade de rápida configuração do sistema para aplicação em outros esportes. Isto foi estimulado pelo fato de que o conhecimento do comportamento do atleta em situações reais possibilita o entendimento dos fatores que influenciam sua performance, auxiliando no desenvolvimento de programas de treinamento direcionados. Além disso, avaliações de laboratório são limitadas pela dificuldade de reproduzir as condições ambientais, físicas e, principalmente, as psicológicas do atleta durante uma prova.

Devido a sua flexibilidade, o sistema de James *et al.* (2004) foi utilizado para acompanhamento de remadores e nadadores da delegação Australiana que participou das Olimpíadas de Atenas de 2004. Os autores destacam que o uso regular deste tipo de acompanhamento associado às práticas tradicionais não só acelerou o desenvolvimento de tecnologias aplicadas à área desportiva, como também possibilitou a disponibilização de informações que a equipe técnica teria dificuldades em conseguir sem o auxílio de barcos instrumentados ou vídeo análise.

Llosa *et al.* (2009) também desenvolveram um sistema baseado em WSN (*Wireless Sensor Network*) para obtenção de dados sobre o movimento do barco e dos remos. O sistema era composto por nós de medição, onde cada nó apresentava dois acelerômetros, numa configuração onde cada um ficava em uma aresta não adjacente de um cubo. Os acelerômetros utilizados foram triaxiais, do tipo LIS3L02AS4 (STMicroelectronics, Suíça), com faixa de operação configurável para $\pm 2g$ ou $\pm 6g$, um filtro passa baixas integrado de 1 polo e frequência fundamental em 100 Hz e compensação de temperatura.

Os sinais dos acelerômetros foram digitalizados por um conversor A/D de 12 bits e passam por um algoritmo para extração das informações de translação e rotação de cada nó de medição.

Os nós de medição se comunicavam através de uma rede sem fio com a central. Tanto os nós de medição quanto a central tinham como base a plataforma Telosb, composta por um microcontrolador MSP430 (Texas Instruments, EUA), com 48 Kbytes de memória interna para programas, 10 Kbytes de RAM e 1 Mbyte de memória *flash* externa. O sistema operacional utilizado foi o TinyOS, *open source* com licença BSD, projetado para dispositivos sem fio de baixo consumo. Cada nó foi alimentado por duas pilhas AA de 1,2V cada.

Os sinais de velocidade e posição do barco foram obtidos através de integração dos sinais de aceleração. Também foi obtida a rotação do barco em torno de seu eixo longitudinal que foi utilizada para um estudo de equilíbrio, pois acreditava-se que este seria mais um parâmetro indicador do nível de técnica do remador.

O trabalho de Schaffert *et al.* (2011), apesar de voltado para o uso de informações sonoras para fornecer *feedback* imediato, também tinha como objetivo o acompanhamento *on-water* e utilizava a aceleração do barco como variável principal.

Através do método de “sonificação” da aceleração do barco, ou seja, dados numéricos de aceleração eram convertidos em sinais audíveis, o sistema denominado “Sofirow” (*sonification in rowing*) transmitia um sinal acústico cujo tom variava de acordo com a variação da magnitude da aceleração. Para tal, foi utilizado um acelerômetro (especificações não disponíveis) e um GPS ajustado para taxa de 4 Hz. A exatidão do GPS para medida da velocidade também foi de 0,1 m/s, como no trabalho de Mattes e Schaffert (2010). A saída analógica do acelerômetro foi amostrada a uma taxa de 125 Hz e foi convertida em tempo real para uma escala musical de acordo com o padrão MIDI (*Musical Instrument Digital Interface*).

Diferente dos anteriores, este sistema não objetivava um pós-processamento, mas este poderia ter sido integrado, uma vez que o sistema era capaz de fornecer informações sobre as principais variáveis envolvidas na cinemática do barco (LISTA).

Entre os anos de 2009 e 2010 o Laboratório de Instrumentação Biomédica (LIB) do PEB/COPPE/UFRJ desenvolveu um sistema para aquisição de sinais de três acelerômetros, posicionados respectivamente no barco, no carrinho e no tronco do remador. O sistema era composto por um *notebook* Aspire One KAV10 de 11” (Acer, Formosa) conectado a uma placa de aquisição NI-6009 (National Instruments, EUA) via porta USB 2.0. Os acelerômetros MMA7260Q (Freescale Semiconductor, EUA) eram encapsulados em invólucros de borracha termo-retrátil e conectados às entradas

analógicas da placa de aquisição. A alimentação dos sensores foi feita por uma bateria externa de 6 V e 1,3 Ah, e um regulador de tensão integrado para atender os limites de tensão permitidos para os sensores (2,2 V - 3,6 V).

O *notebook*, a placa de aquisição e a bateria eram acondicionados dentro de um recipiente plástico, de dimensões 37,0 x 26,5 x 14,0 cm, fixado à proa do barco (Figura 25) através de quatro ventosas na parte inferior. Os acelerômetros do barco e do carrinho eram fixados com fita adesiva comum em posições pré-definidas alinhadas com os eixos de medição. O sensor do tronco era fixado a uma faixa elástica presa ao corpo do remador de forma semelhante a uma faixa de monitor cardíaco.



Figura 25 – Sistema provisório utilizado para validação da proposta de sistema portátil para acompanhamento dos treinos na água de remadores.

Os sinais de aceleração do barco apresentavam o mesmo padrão dos sinais encontrados na literatura, no entanto, os sinais de aceleração do carrinho e do tronco do remador foram descartados, pois sofreram com infiltração de água salgada nos invólucros causando o mau funcionamento dos sensores. Outro fato constatado foi que a massa do sistema desestabilizava o remador durante os testes. O sistema possuía 2,6 kg, o que representa um acréscimo de 20% na massa do barco, e por isso impedia que os remadores agissem normalmente por receio de que o barco perdesse a estabilidade.

Outros sensores também são comumente empregados no monitoramento dos atletas. O BioRow, por exemplo, também pode medir o deslocamento do tronco dos remadores e a posição do carrinho. Para a medida do deslocamento do tronco, Kleshnev (2004) utilizou um potenciômetro rotativo multi-voltas, uma roldana e uma linha de pesca com um baixo índice de elasticidade. Para medida da posição do carrinho, Kleshnev (2004) utilizou o mesmo sistema desenvolvido para monitoramento do tronco, com uma única diferença, não foi necessária a utilização de suporte e roldana. Para as mesmas medidas, Bettinelli *et al.* (2010) utilizaram um potenciômetro do tipo *string* (SP2-50, CELESCO, EUA) e Smith e Loschner (2002), um potenciômetro linear.

Para medição de posição angular horizontal dos remos, Pilgeram e Delwiche (2006) utilizaram um potenciômetro modelo 6637S-1-502 (Bourns, EUA) com o eixo

fixo ao pino e o corpo preso à forqueta por uma haste de metal. Bettinelli *et al.* (2010) utilizaram a mesma técnica, com um potenciômetro rotativo de 308° (SP2831, Novotechnik, EUA).

3.2. Instrumentação para Canoagem

Sistemas semelhantes aos discutidos para o Remo podem ser encontrados também em outros esportes aquáticos como a canoagem. Para este caso, informações sobre a aceleração dos caiaques também possibilitam inferir sobre a performance dos atletas, identificando falhas e deficiências técnicas, além de auxiliar na escolha dos equipamentos e na composição de equipes.

Robinson *et al.* (2011) desenvolveram o “PadLog”, sistema composto por um acelerômetro monoaxial ADXL105 (Analog Devices, EUA), com faixa de operação $\pm 5g$, amostrado a uma taxa de 100 Hz por um *datalogger* Tattletale Model 8 (Onset Computer Corporation, EUA). Os dados foram armazenados em uma memória flash de 30 Mbytes (Persistor Instruments Inc., EUA) e posteriormente transferidos para um computador para processamento.

Para aquisição dos dados o sistema foi posicionado no centro do caiaque e a orientação do sensor ajustada para medida da aceleração paralela ao eixo longitudinal da embarcação. Para validação dos dados a análise dos resultados foi feita de forma independente da equipe técnica, que utilizou vídeos coletados por duas câmeras.

Além de corroborarem com a opinião dos técnicos, os resultados gerados pelo sistema foram capazes de indicar particularidades que a olho nu não seriam possíveis. Alguns exemplos destes comportamentos indicados pelo autor foram o comportamento da fase de *recovery* com o aumento da voga e a presença de acelerações negativas no meio da fase de *drive*.

Robinson *et al.* (2011) utilizaram tabelas segmentadas em trechos de prova para apresentar seus resultados. As variáveis analisadas foram tempo total, tempo por trecho de 100 m, quantidade de remadas total e quantidade de remadas por trecho de 100 m. Os técnicos também foram familiarizados com o formato dos sinais de aceleração para que pudessem ter contato com o dado mais bruto possível e ainda assim identificarem e discutirem particularidades de cada curva.

Outro exemplo de sistema para canoagem é o trabalho de Rottenbacher *et al.* (2011) que utilizou uma plataforma de desenvolvimento Arduino com um acelerômetro e um giroscópio integrados, ambos triaxiais, para acompanhamento da aceleração e da

velocidade angular da embarcação. A velocidade do caiaque foi obtida diretamente do *impeller* integrante do kit NK SpeedCoach. Também foram utilizados sensores de força fixados no centro das pás. Para digitalização e armazenamento dos sinais foi utilizado o SoMat 2300 (HBM GmbH, Alemanha), com 16 canais analógicos, resolução de 12 bits, 32 Mbytes de memória interna. O sistema foi testado com atletas de elite e mostrou-se capaz de fornecer dados sobre tempo, voga, potência e velocidade e outros indicadores de interesse específico do esporte.

3.3. Sobre a Apresentação dos Resultados

Robinson *et. al.*, 2002 discutem que para acompanhamento de atletas, principalmente em equipes de alto desempenho, onde a diferença entre ganhar o ouro e estar eliminado da final pode ser da ordem de centésimos de segundo, o ideal é a utilização de equipamentos de acompanhamento *on-water* que não tirem a atenção do atleta durante o treinamento. Se o atleta tiver consciência que ele está sendo monitorado, seja por sentir algum incômodo referente à presença do sistema (peso elevado, fios passando pelo barco ou equipamentos, etc.) ou pelo mesmo interferir em seus movimentos (sensores presos ao corpo, sensores mal posicionados, etc.), seu comportamento não refletirá aquele de quando não está sendo monitorado, consequentemente introduzirá distorções no sinal (Llosa *et al.*, 2009).

Apesar de muitos trabalhos (LISTA) terem se dedicado ao desenvolvimento de índices de performance, ainda não há uma definição clara de que combinação de valores desses índices é mais indicada para um atleta com determinadas características físicas e fisiológicas (Soper e Hume, 2004). Sendo assim, os índices tradicionais, como voga média, velocidade média do barco, distância percorrida por remada e a razão entre as fases de *drive* e *recovery*, ainda são os mais utilizados para acompanhamento da performance.

Além disso, também é recomendada uma forma de apresentação de resultados mais intuitiva para os técnicos, como as tabelas apresentadas no trabalho de Mattes e Schaffert (2010) e Robinson *et al.* (2011).

Após o processamento dos sinais, a maior parte dos sistemas fornece como saída gráficos com o perfil temporal da aceleração e velocidade do barco e/ou deslocamento dos remos (Bettinelli *et al.*, 2010, Llosa *et al.*, 2009,). Diferentemente destes gráficos, a apresentação de resultados em tabelas está mais próxima da forma com que os dados são registrados (de forma manual) durante os treinos.

Quanto menor for a mudança de paradigma para inserção dos sistemas de acompanhamento na rotina de treinos, maior será a aceitação dos mesmos pela equipe técnica e pelos atletas.

Capítulo 4

Materiais e Métodos

Para que fosse realizado o acompanhamento de atletas durante os treinos *on-water*, um sistema portátil de aquisição e armazenamento de dados foi desenvolvido. O sistema proposto operava no modo *stand-alone* (sem necessidade de conexão a um computador), sendo capaz de coletar informações de posicionamento geográfico e aceleração do barco nos três eixos de movimento, além de possuir conexões externas para até 4 sensores com interface analógica.

O processamento dos dados foi realizado em MATLAB. Um programa capaz de ler os arquivos com sinais dos sensores e do GPS, quando presente, condicionava os sinais e fornecia todas as informações já formatadas para confecção de um Relatório de Acompanhamento. Estes relatórios foram entregues aos atletas e discutidos com a equipe técnica durante reuniões semanais realizadas no Clube de Regatas do Flamengo (CRF).

Neste capítulo será apresentada a estrutura do sistema desenvolvido, hardware e software, e como foi realizado o processamento dos dados. Por fim será apresentada a metodologia de análise dos sinais coletados.

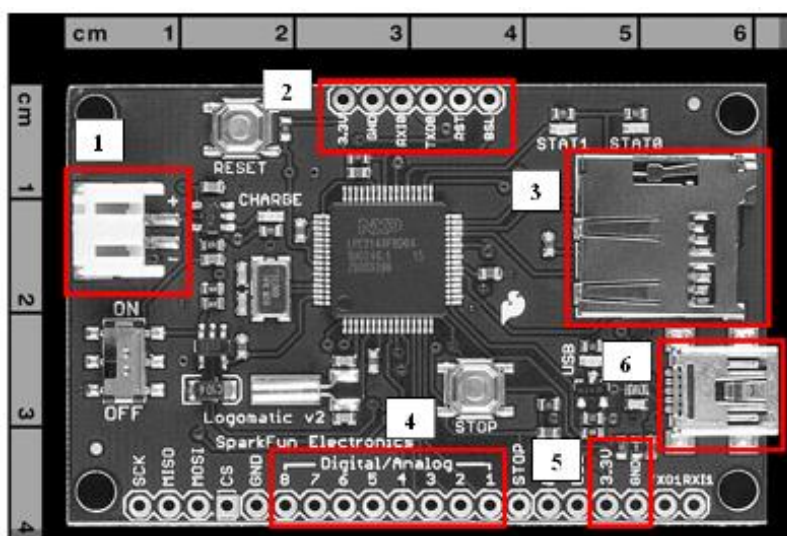
4.1. Descrição do *Hardware*

4.1.1. Sistema para Aquisição de Dados

Com base na revisão realizada no capítulo anterior, foi então definido que o sistema deveria apresentar dimensões não maiores que 15,0 x 10,0 x 10,0 cm³ e massa máxima de 0,5 kg (um acréscimo de aproximadamente 4% na massa de um barco *single skiff*).

Ainda com base na revisão da literatura, foram definidos os seguintes requisitos para a central de processamento: mínimo de 8 canais de aquisição de sinais analógicos a uma frequência de 100 Hz por canal; capacidade de operação no modo *stand-alone*; pelo menos uma interface para comunicação serial; baixo consumo de energia e dimensões reduzidas. O *datalogger* OEM Logomatic V2 Serial SD - WIG-10216 (Sparkfun, EUA) foi escolhido para o projeto.

O Logomatic (Figura 26) utiliza um chip LPC2148 (Philips, Holanda) baseado na arquitetura ARM7 (processador ARM7TDMI-S). Este sistema possui um *firmware*³ *open-source* capaz de realizar, em sua programação original, a aquisição de 8 canais analógicos a uma taxa máxima de 187 Hz (com todos os canais ativados) ou de um dispositivo digital através de interface serial a uma taxa máxima de 115200 bps. O *firmware* também permite a gravação de arquivos nos formatos texto sem formatação (*.txt) ou binário (*.bin). Todos os dados podem ser armazenados em um cartão de memória *flash* do tipo Micro SD com capacidade de até 2,0 GB.



- 1 – Conexão para a bateria.
- 2 – Interface para comunicação serial.
- 3- Soquete *push-push* para cartão Micro SD.
- 4 – Conexões dos 8 canais analógicos.
- 5 – Conexões para alimentação de dispositivos externos com 3,3 V.
- 6 – Interface Mini USB.

Figura 26 – Dimensões e conexões do datalogger Logomatic V2 Serial SD.

A alimentação do *datalogger* é feita através de uma bateria de LiPo (*Lithium Ion Polymer*) de 3,7 V; regulada pelo próprio sistema em 3,3 V para servir como fonte de alimentação para os sensores.

Há, também, uma interface mini USB que permite o acesso aos arquivos salvos no cartão de memória (com o *datalogger* ligado), além de fornecer acesso para a realização do processo de carga da bateria (com o *datalogger* desligado).

³ Define-se *firmware* como um conjunto de instruções programadas diretamente na memória não-volátil do equipamento e que dizem respeito as suas funções básicas.

A Figura 27 mostra uma comparação entre o sistema anterior desenvolvido pelo LIB e a primeira versão do sistema atual com apenas uma conexão para sensores externos. É possível notar que houve uma redução significativa de dimensões. A redução de massa foi da ordem de 6 vezes.



Figura 27 – Comparação entre o sistema provisório (direita) e a primeira versão do sistema de aquisição portátil (esquerda).

4.1.2. Arquitetura do sistema

O módulo principal do sistema, cuja arquitetura está ilustrada na Figura 28, é composto pelos seguintes elementos:

- *Datalogger* OEM Logomatic V2 Serial SD - WIG-10216 (Sparkfun, EUA) para aquisição e armazenamento dos dados;
- Acelerômetro triaxial MMA7260Q (Freescale Semiconductor, EUA), com faixa dinâmica de ± 2 g e sensibilidade de 600 mV/g para medição da aceleração do barco nos três eixos de translação: avanço (*sway*), deriva (*surge*) e afundamento (*heave*) (Figura 29);
- GPS Venus638FLPx (SkyTraq Technology, Taiwan) que transmite mensagens de atualização de posicionamento geográfico a uma taxa de 10 Hz, com precisão de 2,5 m CEP (*Circular Error Probability*⁴) para monitorar o deslocamento do barco;
- Bateria LiPo de 3,7 V com capacidade de 2000 mAh para alimentação de todo o sistema incluindo acelerômetro e GPS;

⁴ Definido como o raio de um círculo, centrado em torno da média, onde é esperado que estejam 50% dos valores medidos.

- Duas conexões externas de 05 pinos para monitoramento de sinais de tensão de outros sensores.

As conexões externas podem ser utilizadas com qualquer sensor que opere na faixa de 0,0 V a 3,3 V e que respeite o padrão das conexões (Figura 30). Caso estas conexões não estejam sendo utilizadas em determinada coleta, são utilizados conectores “cegos” para proteção mecânica e prevenção de curtos-circuitos.

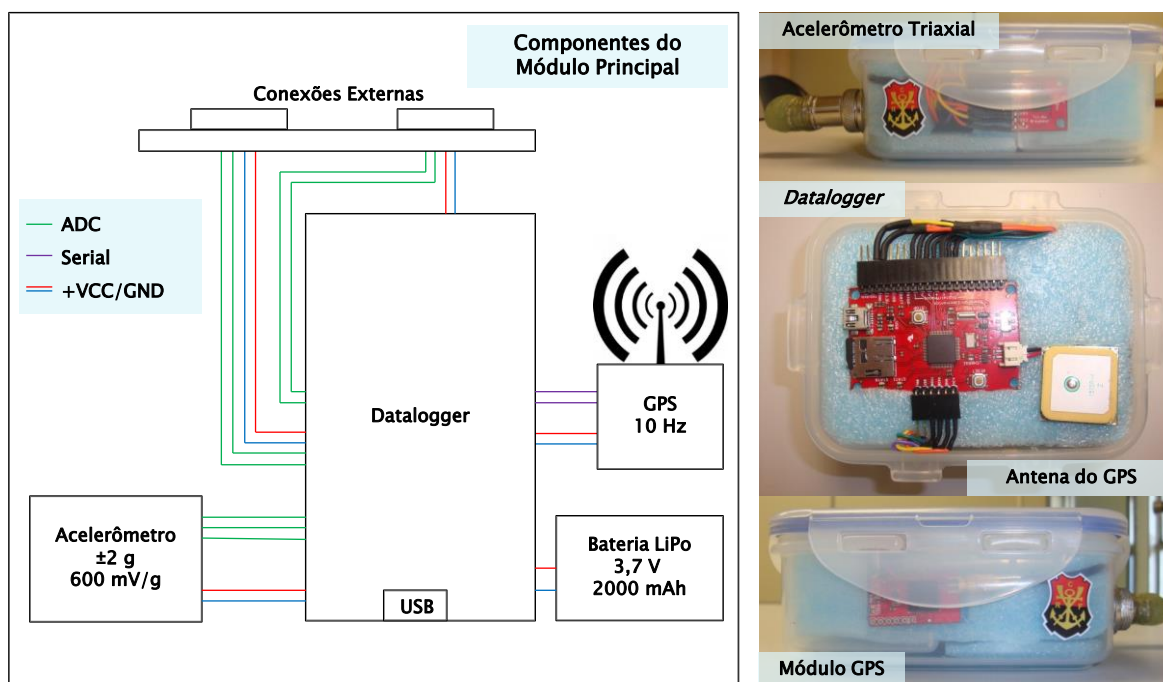


Figura 28 – Diagrama de Blocos do Sistema de Aquisição de Dados (esquerda) e principais componentes do módulo principal (direita).

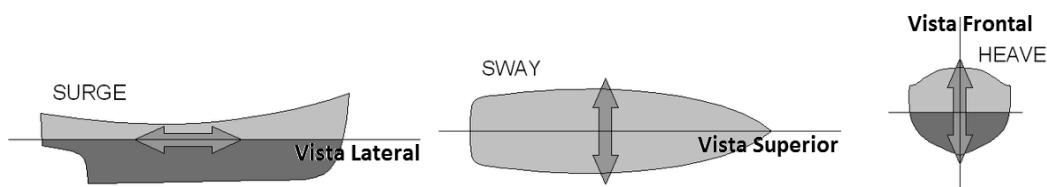


Figura 29 – Eixos de translação do barco: avanço (*sway*), deriva (*surge*) e afundamento (*heave*).

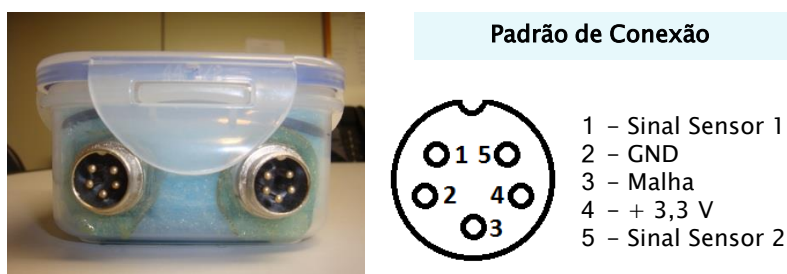


Figura 30 – Padrão de conexão de sensores externos ao sistema.

4.1.3. Sensores Externos

Cabos com sensores especiais foram produzidos para fornecer informações adicionais para atletas e treinadores, estes sinais e informações, entretanto, não serão explorados neste trabalho.

Um dos cabos foi desenvolvido com dois acelerômetros MMA7260Q (Freescale Semiconductor, EUA). Apesar de se tratarem de acelerômetros triaxiais, ambos realizam suas medidas apenas no eixo de deriva do barco. Para proteção dos sensores foram utilizados invólucros de borracha termo-retrátil vedados com resina epóxi (Figura 31). Estes acelerômetros podem, por exemplo, ser utilizados para detectar movimentos de tronco ou do carrinho.



Figura 31 – Numa das conexões externas está o cabo com acelerômetros para monitoramento do movimento do carrinho e do tronco do remador, na outra conexão, está o conector de proteção.

Um segundo cabo foi produzido com sensores para registro da amplitude de remada, ou seja, do deslocamento angular horizontal dos remos. Foram construídos goniômetros potenciométricos que se encaixam aos pinos das forquetas (Figura 32) de forma semelhante aos descritos nos trabalhos de Pilgeram e Delwiche (2006) e Bettinelli *et al.* (2010).



Figura 32 – Da esquerda para direita: Goniômetro potenciométrico para medida de amplitude de remada e sistema completa com todos os sensores externos desenvolvidos.

Foram utilizados potenciômetros lineares com resistência nominal total de 10 k Ω e excursão de 300°. Estes sensores também foram protegidos com silicone após montagem nos suportes para evitar contato com a água.

4.2. Descrição do *Firmware*

Um novo modo de operação foi desenvolvido para o *datalogger*, o Modo “ADC + UART⁵”. Nele o microcontrolador realiza, no mesmo ciclo de execução, a interrupção de leitura dos canais analógicos (ADC) e a interrupção de leitura da interface serial (UART). Para criação deste novo modo de operação foi necessária a modificação de três funções originais do *datalogger* (funções: *main*, *Log_init*, *mode_action*) e a criação de três novas funções (funções: *mode_3*, *MODE3ISR_TMR*, *MODE3ISR_UART*). Todas estas modificações e lógica utilizada para construção do novo modo de operação estão descritas no Anexo A.

4.3. Descrição do *Software* de Processamento

4.3.1. Processamento dos Sinais

Partindo das informações constantes no arquivo CABECALHO.bin, cujo conteúdo é copiado para os arquivos de dados dos sensores, os sinais brutos são calibrados e processados por uma função escrita em MATLAB, denominada Acel10.

Após exibição do sinal selecionado, é solicitado ao usuário que destaque o trecho desejado para processamento (Figura 33). Este trecho passa por uma rotina que realiza a marcação dos picos máximos de aceleração (que guardam relação com a *propulsão* proferida pelo remador ao barco), dos picos máximos de desaceleração (que se relaciona com o processo de frenagem verificado no início do *catch*) e do primeiro cruzamento pelo zero antes e depois dos picos positivos de aceleração. A voga é calculada por meio do cômputo do intervalo entre dois picos consecutivos de frenagem, semelhante ao método utilizado por Llosa *et al.* (2009).

⁵ UART - *Universal Asynchronous Receiver and Transmitter*

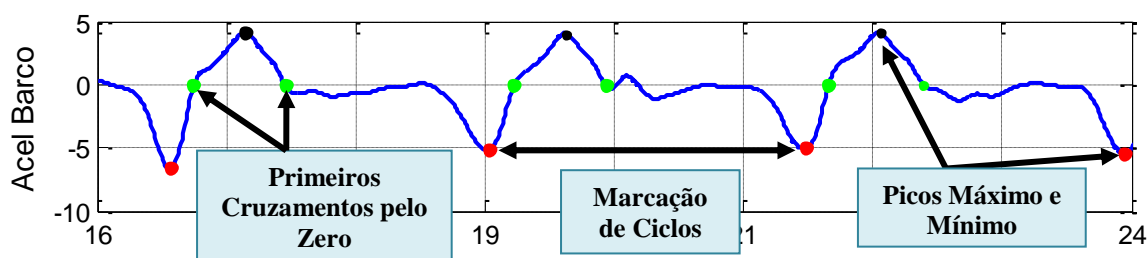


Figura 33 – Processamento realizado nos sinais de aceleração do barco no eixo de *surge* – Marcação dos picos máximo e mínimo de aceleração, primeiro cruzamento pelo zero antes e depois do pico máximo de aceleração e marcação de ciclos para cálculo da voga.

Caso haja um arquivo de GPS associado, este também é processado e as informações relevantes da mensagem GGA (ver seção 0) são extraídas para cálculo do deslocamento e velocidade do barco, sendo o último obtido através de derivação do sinal de deslocamento.

A sequência de coordenadas geográficas na forma “(latitude, longitude)” é convertida em um conjunto de vetores deslocamento para cálculo do percurso utilizando o modelo “*WGS-84 Earth Ellipsoid*”⁶ (Vicenty, 1975). Este vetor deslocamento é descrito pelo par “(magnitude, orientação)” que representam a distância percorrida e o azimute.

A referência para conversão é sempre a primeira mensagem válida de GPS, ou seja, o início do percurso será sempre o local onde o sistema foi energizado. Todos os deslocamentos são medidos em relação a este ponto. Isso evita a necessidade de definição de uma referência fixa trazendo flexibilidade para o sistema que passa a poder ser utilizado em qualquer local do planeta.

Como o deslocamento é amostrado com uma frequência 10 vezes menor que a dos sensores, este sinal é reamostrado pela rotina Acel10 para que possa ser sincronizado com o sinal de aceleração.

Para garantir a validade da exatidão de 2,5 m CEP (*Circular Error Probability*) informada no manual do GPS, os dados do mesmo somente foram considerados válidos quando o parâmetro HDOP fosse maior menor ou igual a 3.

Após as etapas de processamento dos sinais de aceleração e deslocamento, estes são tabulados para apresentação dos resultados através da quantidade de remadas e os

⁶ Modelo matemático para descrição da forma da Terra. É composto por um sistema padrão de coordenadas, uma superfície de referência, elipsóide, para os dados de altitude, e uma superfície, o geóide, que define o nível do mar nominal.

valores médios de voga, propulsão, frenagem e razão temporal entre as fases de *drive* e *recovery*.

4.3.2. Filtragem dos Sinais de Aceleração do Barco (*Surge*)

Para definir qual a frequência de corte mais adequada para o filtro de *butterworth* aplicado aos sinais de aceleração do barco, foi realizada uma análise espectral de um grupo de sinais coletados com o sistema desenvolvido. Esta mesma técnica foi utilizada por Llosa et al. (2009) para ajuste dos filtros.

Foram empregados 10 sinais relativos a trechos de 2000 m, o que representa amostras com 205 a 257 ciclos (remadas), variando de acordo com a voga aplicada. Não foram utilizados sinais de aquecimento ou de tiros curtos (distância menor que 2000 m) por serem sinais com baixa uniformidade de ciclos ou com baixa representatividade (poucos ciclos).

Os sinais selecionados tiveram seu nível médio removido e passaram por uma rotina que os divide em oito janelas de Hanning de tamanhos iguais (completando o último trecho com zeros, caso necessário) e calcula a FFT⁷ para cada uma dessas janelas, sendo, por fim, obtido um espectro de potência médio das janelas. A escolha da quantidade de janelas para o algoritmo foi baseada na experiência da equipe técnica que utiliza esta divisão para análise de desempenho do remador em uma prova. Acredita-se que esta divisão permita uma melhor observação dos diferentes comportamentos do movimento do barco ao longo dos 2000 m.

Na Figura 34 estão ilustrados exemplos de espectros obtidos a partir de sinais que atenderam o requisito anteriormente descrito. O eixo das abscissas representa o eixo das frequências.

⁷ FFT – *Fast Fourier Transform*

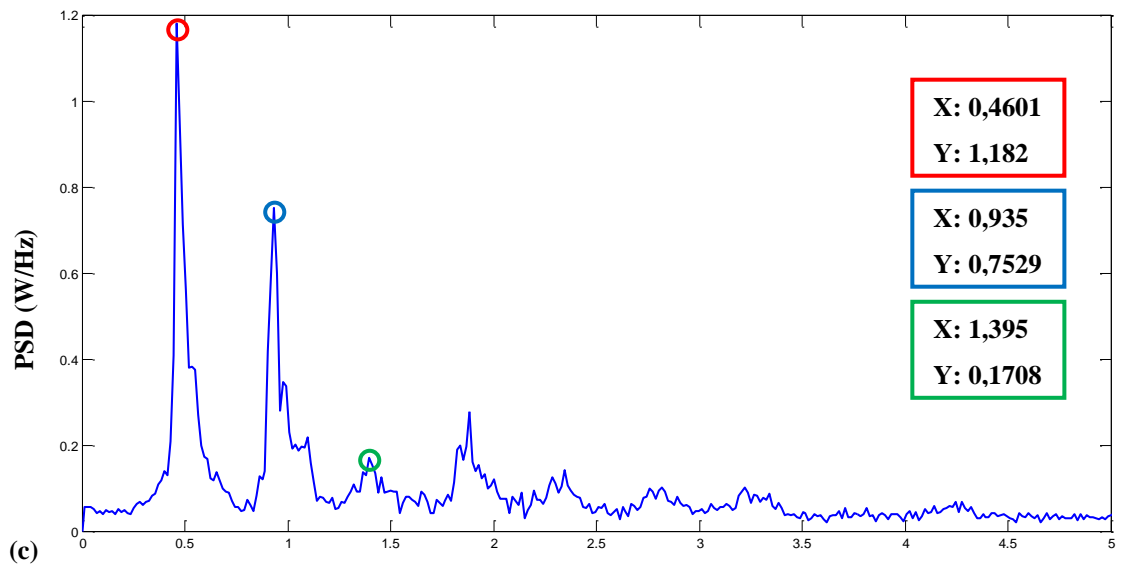
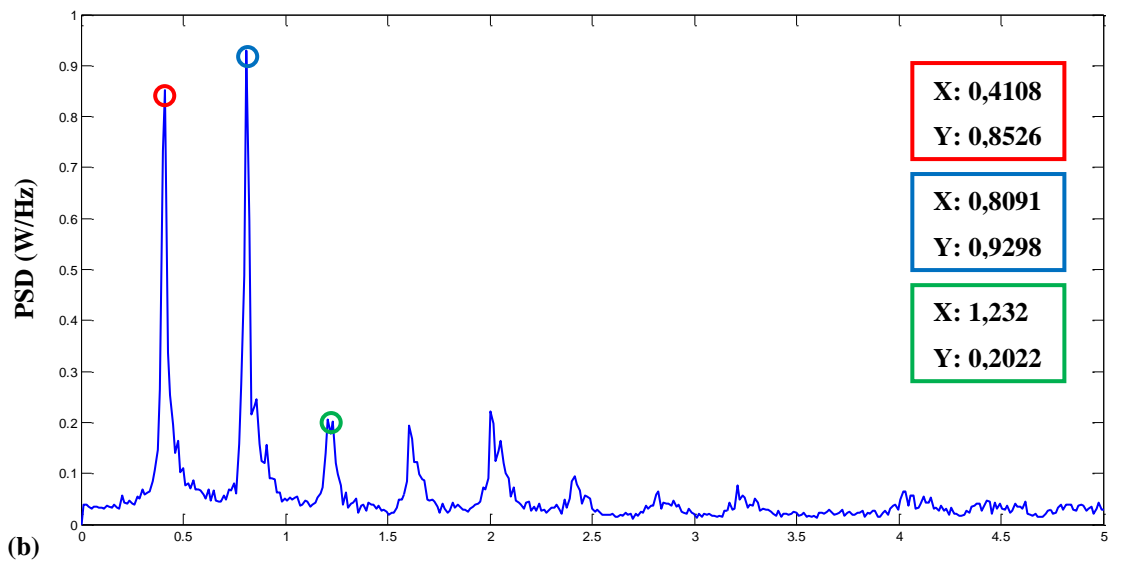
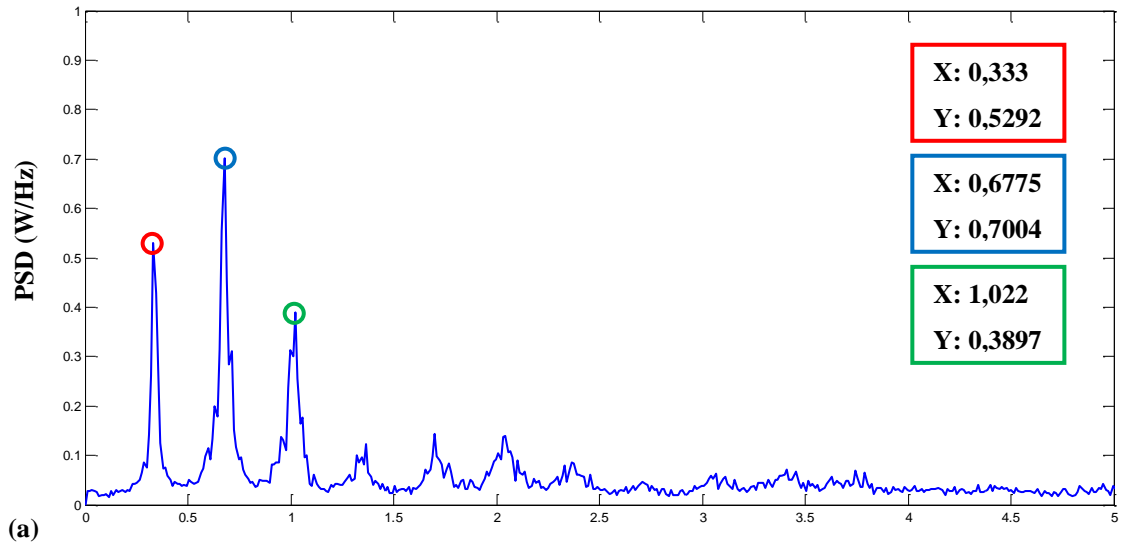


Figura 34 – Espectros calculados para os sinais de aceleração do barco selecionados.
 (a) Voga 20,1 remadas/min (b) Voga 24,7 remadas/min (c) Voga 29,2 remadas/min.

A Tabela 2 mostra as vogas médias de cada prova e a frequência fundamental teórica calculada para os sinais exibidos na Figura 34.

Tabela 2 – Exemplos de parâmetros de sinais utilizados para a análise espectral. Estes parâmetros são referentes aos sinais apresentados na Figura 34.

Data da Coleta	Voga Média	Frequência Fundamental Teórica	Frequência Fundamental Real
03/02/2012	20,1	0,335 Hz	0,333 Hz
18/02/2012	24,7	0,412 Hz	0,411 Hz
11/02/2012	29,2	0,486 Hz	0,460 Hz

Utilizando um limiar de 20% do pico máximo foi possível notar que, na maioria dos casos, até o 7º harmônico ainda há energia suficiente para diferenciá-los do nível de energia do ruído. Sendo assim, considerando que a faixa de vogas admissível será de 10 a 42 remadas/minuto, temos uma faixa de frequências fundamentais de 0,167 Hz a 0,700 Hz.

Para o dimensionamento da frequência de corte superior do filtro foi considerado o sétimo harmônico da maior frequência fundamental admissível, ou seja, $0,700 * 7 \approx 5$ Hz.

Este estudo também indicou que a análise dos sinais no domínio da frequência pode ser uma maneira de determinação da voga média, representada pela frequência fundamental do sinal de aceleração do barco.

4.4. Calibração dos Sensores Analógicos

A calibração dos sinais brutos dos sensores analógicos é feita em duas etapas. Na primeira, os sinais são convertidos do código binário para volts e na segunda é aplicada a calibração propriamente dita para que os sinais representem uma grandeza física.

Como os sinais brutos são armazenados na forma de saída do conversor A/D, ou seja, como um número entre 0 e 1023 (resolução de 10 bits), é necessário utilizar um fator de conversão. Este fator é calculado conforme descrito na Equação 3 para uma tensão de alimentação (V_{cc}) de 3,3 V.

$$Calib_Volts = \frac{V_{cc}}{1023} = \frac{3,3}{1023} \approx 0,003226 \quad (3)$$

Após esta conversão, a calibração de cada sensor é aplicada individualmente seguindo a regra da Equação 4.

$$Sinal_{Calibrado} = Ganho \cdot (Sinal_{Volts} - offset) \quad (4)$$

4.4.1. Calibração dos Acelerômetros

Para realização da calibração dos acelerômetros foi utilizado um inclinômetro analógico com base magnética fixado a uma superfície metálica conforme arranjo da Figura 35. O objetivo desta calibração é medir a saída do sensor para cada componente da aceleração da gravidade paralelo ao eixo de medida sendo calibrado (na Figura 35, o eixo medido para calibração é representado pela equação $g \sin \theta$).

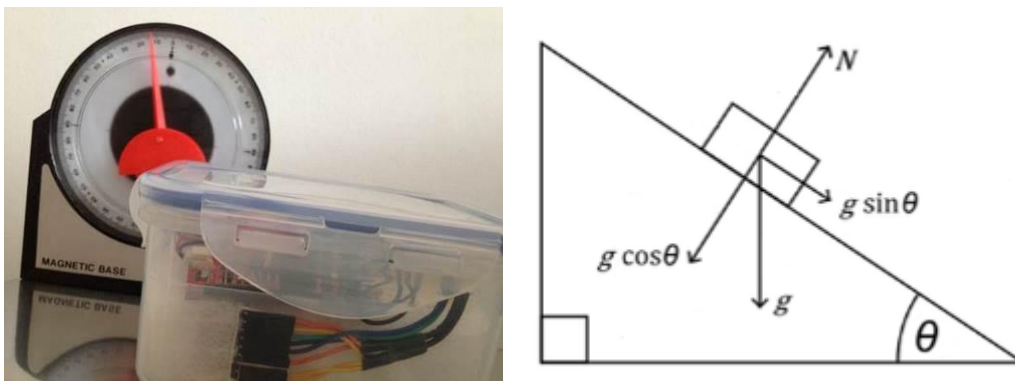


Figura 35 – Arranjo utilizado para calibração dos sensores de aceleração. Goniômetro com base magnética fixado a superfície metálica e sistema de aquisição posicionado sobre a mesma superfície.

Esta nova calibração dos sensores se faz necessária pelas características construtivas do sistema de aquisição, pois mesmo que o sensor tenha sido posicionado em um local fixo com seus eixos alinhados aos eixos de translação do barco (Figura 29), não há como garantir que este alinhamento mantenha os parâmetros de fábrica. Além disso, mesmo que fosse possível garantir tal configuração, o próprio sensor já possui imperfeições inerentes ao seu processo de fabricação que resultam em um conjunto de parâmetros diferentes do teórico.

A Figura 36 mostra como está posicionado o sensor de aceleração do barco no módulo principal do sistema. A calibração sugerida no manual do acelerômetro MMA7260Q (Freescale Semiconductor, EUA), considerando faixa dinâmica de ± 2 g, é descrita pela Equação 5.



Figura 36 – Posicionamento do sensor para monitoramento da aceleração do barco no sistema desenvolvido. Os eixos X, Y e Z representam *surge*, *heave* e *sway*, respectivamente.

$$Aceleração = \left(\frac{g}{0,600} \right) \cdot (Tensão_{Saída} - 1,65) \quad (5)$$

As novas equações obtidas após procedimento de calibração do acelerômetro do módulo principal do sistema são representadas pelas Equações 6, 7 e 8.

$$\text{Surge: } Aceleração = 15,973600 \cdot (Volts - 1,598000) \quad (6)$$

$$\text{Heave: } Aceleração = 16,250000 \cdot (Volts - 1,608000) \quad (7)$$

$$\text{Sway: } Aceleração = 15,951900 \cdot (Volts - 1,646000) \quad (8)$$

Também foram calibrados os acelerômetros do tronco do remador e do carrinho. As novas calibrações obtidas para estes sensores, seguindo o mesmo método apresentado, são apresentadas nas Equações 9 e 10.

$$\text{Tronco: } Aceleração = 16,342700 \cdot (Volts - 1,708000) \quad (9)$$

$$\text{Carrinho: } Aceleração = 16,308000 \cdot (Volts - 1,710000) \quad (10)$$

4.4.2. Calibração dos Goniômetros Potenciométricos

Para a calibração dos potenciômetros foram utilizadas as seguintes premissas:

- Como o eixo do potenciômetro dos goniômetros fica livre quando o sensor não está instalado no barco, não há como garantir que a referência de zero grau estará sempre no mesmo lugar;
- É possível relacionar uma diferença de posições do eixo do potenciômetro rotativo a um deslocamento angular e essa relação é linear.

Sendo assim, a referência de zero dos sensores foi gerada no início de cada coleta, mantendo o sensor fixo nesta posição por aproximadamente 15 s. Durante o processamento *off-line* dos dados é obtida uma média dos pontos e esta média passa a ser o ponto de referência (R_{Zero}).

O fator de conversão de tensão para graus foi medido através de um osciloscópio conectado a saída do potenciômetro. Para medida dos ângulos foi utilizado um goniômetro analógico semelhante a um transferidor.

A equação de calibração encontrada para conversão dos valores de tensão (Volts) para ângulo (Graus) está descrita nas Equações 11 e 12.

$$\hat{Angulo}_{Graus} = k \cdot (Tens\tilde{a}o - R_{Zero}) \quad (11)$$

$$\hat{Angulo}_{Graus} = 46,5 \cdot (Tens\tilde{a}o + 0,1) \quad (12)$$

4.5. Instalação do Sistema no Barco

Todos os elementos do módulo principal foram armazenados em uma caixa plástica vedada, fixada ao interior do barco por tiras de Velcro® auto-adesivo, próximo aos trilhos do carrinho.

O procedimento de instalação do sistema está ilustrado passo-a-passo no videograma composto pelas Figura 37 até Figura 42 e será descrito a seguir.

Para fixação do módulo principal, deve-se alinhar a fita de velcro® a um dos trilhos do carrinho e fixar o módulo principal respeitando este alinhamento (Figura 37). Esta parte do procedimento garante o alinhamento do eixo de *surge* do acelerômetro com o eixo de movimento do barco.



Figura 37 – Alinhamento do módulo principal do sistema no barco.

Para posicionar o acelerômetro do carrinho (Figura 38), fixar uma fita de velcro® a parte inferior do mesmo, alinhando o eixo do acelerômetro com a parede do

suporte onde são fixadas as rodas. Este suporte tem o mesmo alinhamento dos trilhos utilizados para posicionar o sistema.



Figura 38 – Posicionamento do sensor de aceleração do carrinho.

Caso seja utilizado algum sensor externo, instalar o sensor antes de acionar o sistema. Na Figura 39, está sendo instalado o cabo de acelerometria do remador que possui os acelerômetros do tranco do remador e do carrinho.



Figura 39 – Conexão de um sensor externo ao módulo principal.

Acionar o sistema e garantir que o mesmo esteja com o GPS sincronizado antes de iniciar a coleta. Reposicionar a tampa protetora de forma que as quatro presilhas estejam firmemente travadas (Figura 40).



Figura 40 – Acionamento do sistema.

Verificar se os cabos não estão produzindo nenhum tipo de interferência nos movimentos do remador e fixar o excesso de cabos de forma que estes não se soltem durante a coleta (Figura 41).



Figura 41 – Fixação dos cabos.

O acelerômetro do tronco do remador deve ser posicionado entre a sétima e a oitava vértebras e fixado com uma tira elástica e um alfinete de segurança (Figura 42).



Figura 42 – Fixação do acelerômetro ao tronco do remador.

Caso sejam empregados os goniômetros potenciométricos (Figura 43) eles devem ser encaixados nos pinos das forquetas através de um suporte plástico e uma porca especialmente desenvolvida para esta conexão. O eixo do potenciômetro deve ser acoplado a esta porca através de um parafuso de ajuste, dessa forma o eixo se movimenta com a mesma angulação da forqueta. O corpo do potenciômetro deve ser fixo ao suporte plástico e funciona como referência para a medida da angulação dos remos.



Figura 43 – Instalação dos goniômetros potenciométricos para medida de deslocamento angular horizontal dos remos.

4.6. Método de Avaliação

4.6.1. Frequência de Amostragem e Leitura do GPS

A frequência real de aquisição de dados e de leitura do GPS foi avaliada com um analisador lógico LOGIC (Saleae, EUA). Como em todos os testes o sistema foi configurado para realizar aquisições na frequência de 100 Hz, e leitura do GPS a 10 Hz. Apenas estas frequências foram testadas. Para tal, o LED “Stat0” do *datalogger* foi configurado para indicar toda vez que a interrupção de leitura dos canais analógicos fosse executada e o LED “Stat1” para indicar a execução da rotina de recepção das mensagens de GPS. O analisador lógico foi utilizado para medir a frequência com que os LEDs piscavam.

4.6.2. Testes de Bancada com o GPS

Para verificar a funcionalidade do GPS o sistema foi submetido a um percurso que envolvia três situações distintas: um trecho externo em local aberto, um trecho externo em área urbana e um trecho interno a uma construção. Foi avaliada a quantidade de satélites captados e o parâmetro HDOP relacionado à exatidão do sistema.

4.6.3. Filtragem dos Sinais de Aceleração

Os filtros foram avaliados em sinais com vogas de 18 remadas/minuto (*single skiff*, masculino, peso leve) e de 38 remadas/minuto (8 com, masculino, peso livre). Foi avaliada a morfologia dos sinais com e sem filtro assim como seus espectros de potência.

4.6.4. Acelerometria

Os testes *on-water* consistiram de avaliações dos sinais de acelerometria com atletas da equipe principal do Clube de Regatas do Flamengo (CRF). Todos os atletas foram voluntários e aceitaram a instalação do sistema no barco durante o treinamento.

A parte experimental do estudo foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho, sob o número de protocolo 152/10, com o título de "Análise de métodos objetivos para melhora do desempenho de atletas de remo".

Os sinais apresentados neste trabalho foram coletados com voga constante em um percurso de 2000 m, exceto quando explicitada outra estratégia de perfil de voga. Os resultados foram utilizados para gerar relatórios de acompanhamento para os atletas e equipe técnica do Clube de Regatas do Flamengo. Tais relatórios contêm informações sobre o tempo total de prova, perfil temporal de voga, perfil temporal de propulsão (aceleração máxima) e frenagem (desaceleração máxima), além dos dados do atleta e das condições climáticas do teste.

Para demonstrar o uso do sistema e sua capacidade em detectar diferentes aspectos da remada e dos treinos, os sinais coletados serão apresentados de forma a exemplificar o trabalho que vem sendo feito com técnicos e atletas. Assim, os resultados serão apresentados como estudo de casos e, por esta razão, serão acompanhados de análises preliminares mostrando como os sinais podem ser interpretados.

A primeira análise mostra como usar os sinais avaliando o perfil temporal de aceleração apresentado pelo atleta. Nesta análise um remador da equipe do CRF, na categoria *Single Skiff*, masculino, peso-leve, que será referenciado como MASC_SKIFF, foi avaliado. Foram investigadas diversas características de sua remada como o deslocamento médio por remada, as proporções entre as fases positivas, negativas e neutra (próxima de zero) da remada, o perfil temporal de voga e a reprodutibilidade da remada. A reprodutibilidade foi avaliada qualitativamente com gráficos sobrepostos dos ciclos de remada denominados "Perfis Temporais de Aceleração". Neste caso foram destacados em verde, magenta e preto os ciclos correspondentes as 10 primeiras, 10 intermediárias e 10 últimas remadas respectivamente.

A Figura 44 |mostra um exemplo de perfil de aceleração. Através destes gráficos é objetiva-se detectar de forma qualitativa o comportamento da voga durante o percurso, além de algumas características individuais dos atletas, como a quantidade e posição de

picos secundários e platôs, estratégias de largada e a amplitude característica dos picos de aceleração e frenagem.

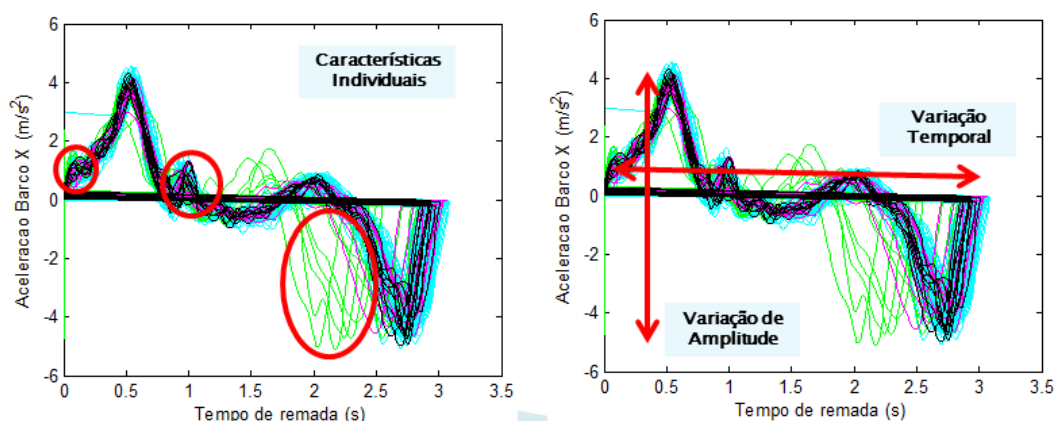


Figura 44 – Perfis de Aceleração e as características que podem ser observadas através deles.

Além dos perfis de aceleração, serão utilizados alguns índices de desempenho para análise dos sinais, são eles: voga, deslocamento por remada, proporção das fases da remada (positiva, negativa e neutra) e razão entre as fases de *drive* e *recovery*.

O perfil temporal de aceleração do barco para o remador MASC_SKIFF foi avaliado com relação a voga empregada por ele em diferentes dias. Duas análises foram realizadas, a primeira em diferentes momentos do ano sempre com voga baixa (mais técnica), entre 18 e 20 remadas/minuto, enquanto que a segunda avaliou sinais temporalmente próximos mas com vogas diferentes (de 18 a 38 remadas/minuto).

Uma segunda análise foi realizada comparando-se diferentes atletas remando em vogas semelhantes. No primeiro grupo, além dos atletas do Clube de Regatas do Flamengo, também foram utilizados como base para discussão o padrão de aceleração e os parâmetros médios de um atleta medalhista olímpico da equipe britânica, a ser referenciado como REF_SKIFF. Este atleta já possui em sua rotina de treinamento a prática de aquisições com sistemas de acompanhamento. Já para o segundo grupo foram comparados apenas atletas de elite da equipe do CRF.

Também são comparadas guarnições de 2 sem durante testes de composição de equipe. Apesar de não ser o objetivo do trabalho, esta análise visa a verificação da aplicabilidade do sistema para avaliação de composição de guarnições podendo sugerir mais um campo de atuação para as ferramentas apresentadas.

Finalmente foi avaliado o uso do GPS para identificação de desbalanceamentos na aplicação de forças nos remos através da análise do percurso do barco na raia. Para os demais sensores (angulação horizontal dos remos e acelerômetros externos) serão

apenas apresentados sinais típicos coletados e algumas sugestões de pontos a serem investigados.

Completando os resultados são discutidas as ferramentas e índices utilizados e proposta uma estrutura para os relatórios apresentados aos técnicos e atletas.

Capítulo 5

Resultados

5.1. Testes e Condicionamento do Sistema

5.1.1. Frequência de Amostragem e Leitura do GPS

A Figura 45 mostra uma frequência real de 101,7 Hz, medida com o analisador lógico LOGIC (Saleae, EUA) para oito canais ativados e GPS. Foram também testadas quantidades diferentes de canais analógicos ativados e a frequência real manteve-se aproximadamente a mesma, variando apenas a partir da quarta casa decimal.

A frequência de leitura de dados do GPS também foi medida. Para uma frequência ideal de 10 Hz, configurada diretamente no dispositivo, foi encontrada uma frequência real de 10,08 Hz, conforme Figura 46. Na figura também é possível observar o intervalo de tempo gasto para receber (canal 0) e processar as mensagens do GPS (canal 2) salvando os dados no *buffer* e posteriormente no cartão SD.

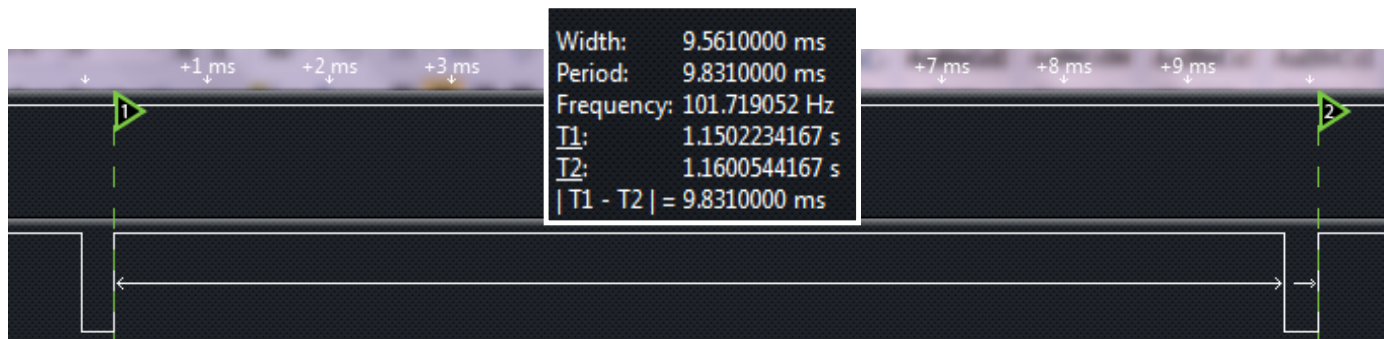


Figura 45 – Frequência real do conversor A/D medida com o analisador lógico LOGIC. O canal 1 apresenta o estado de ativação do LED “Stat0”. “Width” se refere ao tempo em que o sinal 1 permanece em nível 1 (tempo fora da rotina de interrupção), “Period” se refere ao intervalo entre amostras, “Frequency” é a frequência de amostragem, “T1” e “T2” são os instante de tempo usados para a medição da frequência e são marcados por triângulos verdes.

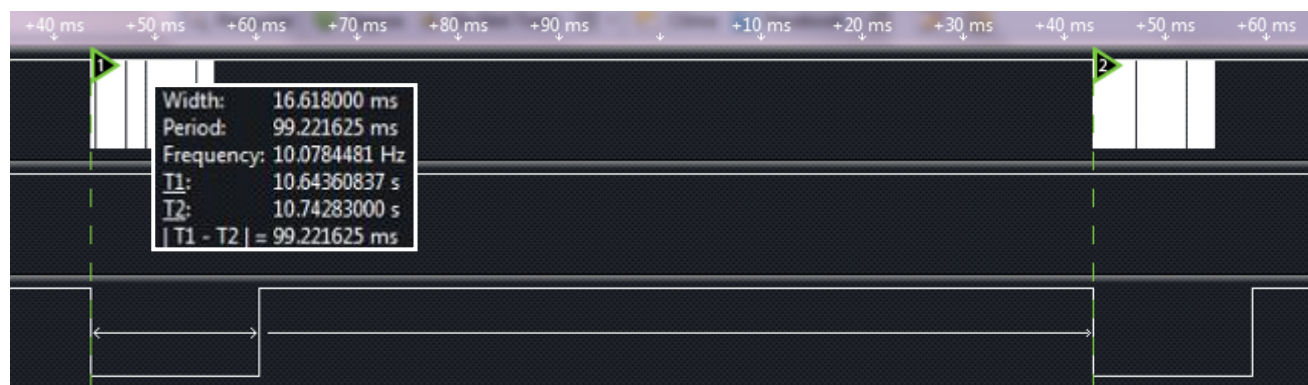


Figura 46 – Frequência real do GPS medida através do analisador LOGIC. O canal 0 mostra as mensagens de GPS sendo recebidas e o canal 2 o estado de ativação do LED “Stat1”. “Width” se refere ao tempo em que o sinal 2 permanece em nível 0 (tempo recebendo e processando a mensagem do GPS), “Period” se refere ao intervalo entre amostras, “Frequency” é a frequência de amostragem, “T1” e “T2” são os instante de tempo usados para a medição da frequência e são marcados por triângulos verdes.

5.1.2. Desempenho do Sistema

A Figura 47 e a Figura 48 mostram trechos de sinais nas vogas 18 e 38 e seus respectivos espectros, antes e depois do processamento realizado em MATLAB.

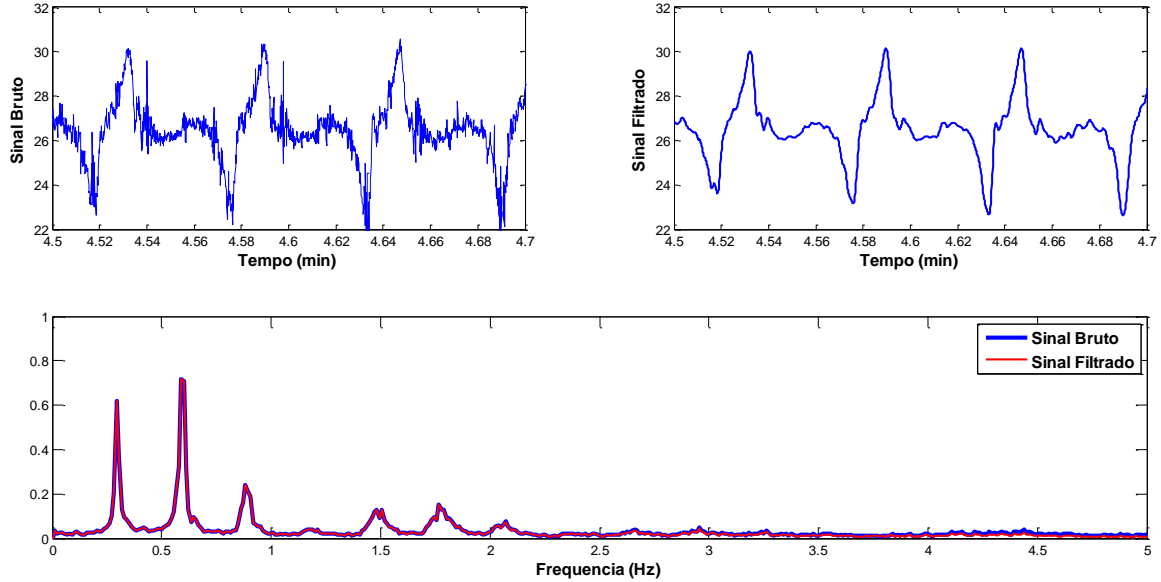


Figura 47 – Voga 18 – Sinal bruto e filtrado a 5 Hz (acima) e espectros sobrepostos (abaixo).

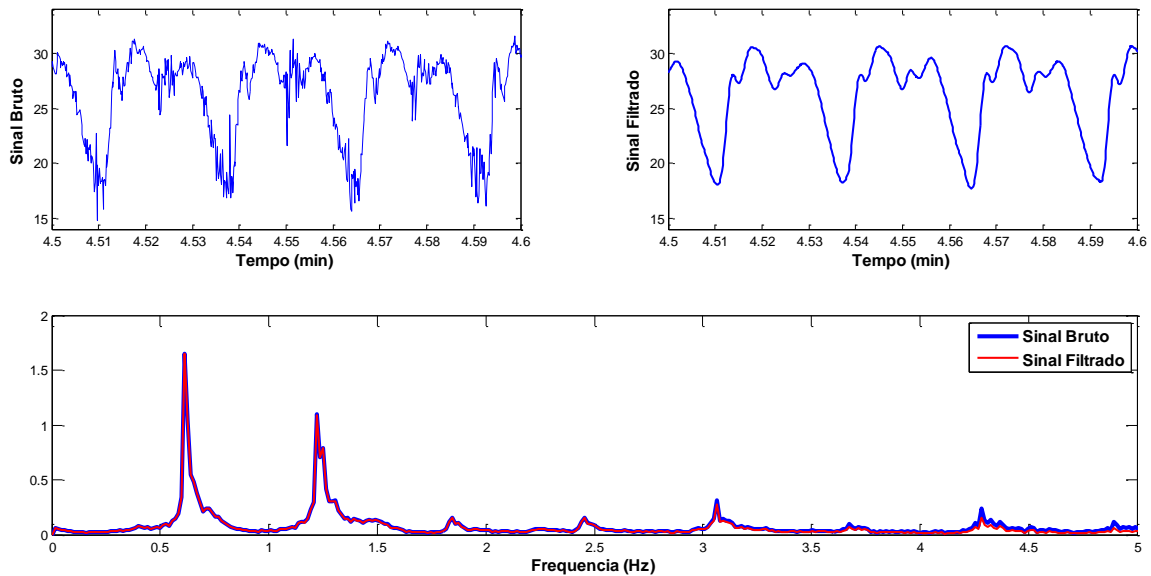


Figura 48 – Voga 38 – Sinal bruto e filtrado a 5 Hz (acima) e espectros sobrepostos (abaixo).

Avaliando a diferença entre os espectros percebe-se que esta é pequena nas frequências até 5 Hz, conforme esperado após a aplicação do filtro (Figura 49 e Figura 50). O erro médio quadrático (MSE) para ambas as vogas nessa região chega a ser três ordens de grandeza menor que o MSE global, sendo $7,46 \cdot 10^{-6}$ para voga 18 e $74,47 \cdot 10^{-6}$ para voga 38.

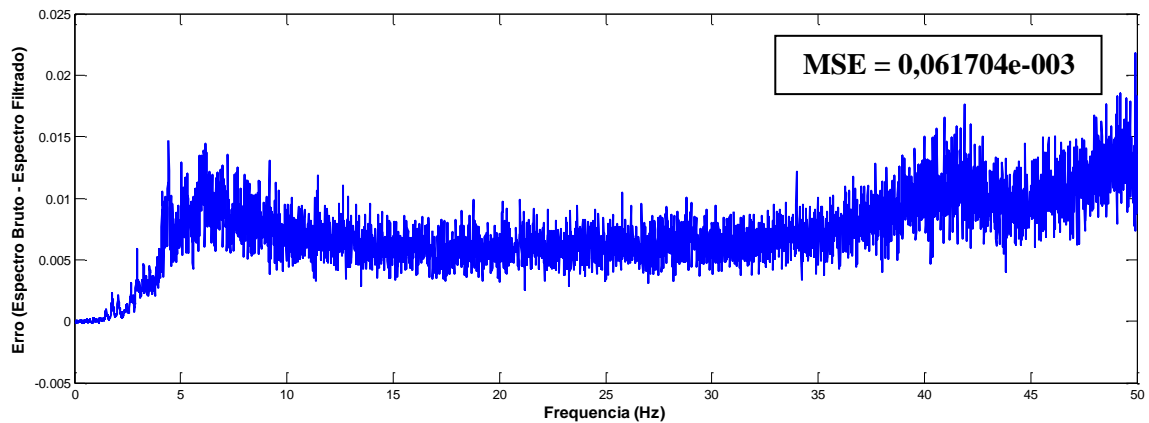


Figura 49 – Voga 18 – Diferença entre os espectros bruto e filtrado. $MSE = 0,062 \cdot 10^{-3}$.

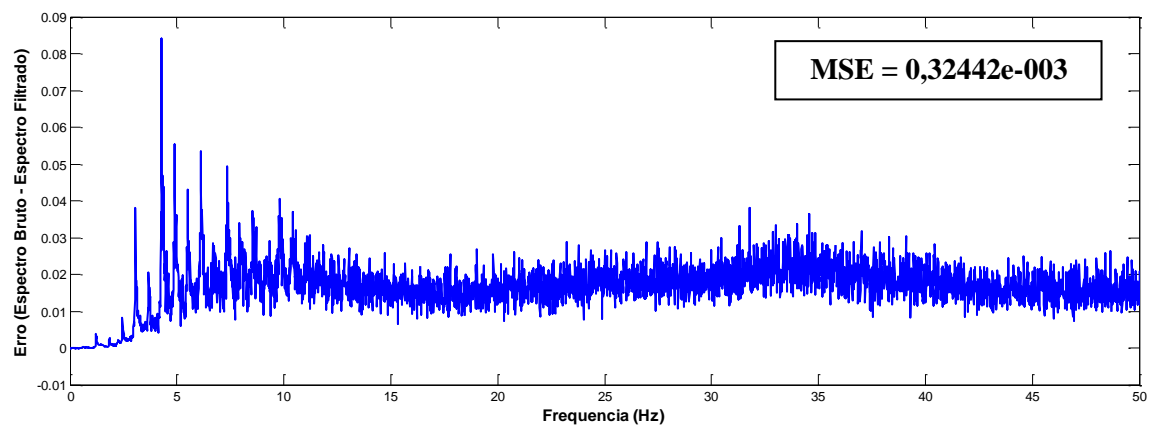


Figura 50 – Voga 38 – Diferença entre os espectros bruto e filtrado. $MSE = 0,324 \cdot 10^{-3}$.

5.1.3. Testes de Bancada com o GPS

A Figura 51 mostra o traçado do percurso completo.



Figura 51 – Percurso utilizado para teste do GPS. Trecho 1 (amarelo): trecho externo em local aberto. Trecho 2 (azul): trecho externo em área urbana. Trecho 3 (verde): trecho interno a uma construção. Traçado Vermelho: Percurso real.

Nos dois primeiros trechos do percurso, ambos em área externa, a quantidade de satélites sincronizados com o sistema se manteve acima de 6, respeitando o mínimo de 3 satélites. Além disso, o parâmetro HDOP variou dentro dos limites estabelecidos na subseção 4.3.1. para os mesmos trechos.

Já no último trecho, onde o sistema foi testado no interior de uma construção, a sincronia com os satélites é rapidamente perdida e o sistema passa a repetir a última informação de posição válida enquanto a comunicação não é reestabelecida. Estes resultados estão representados de forma gráfica na Figura 52.

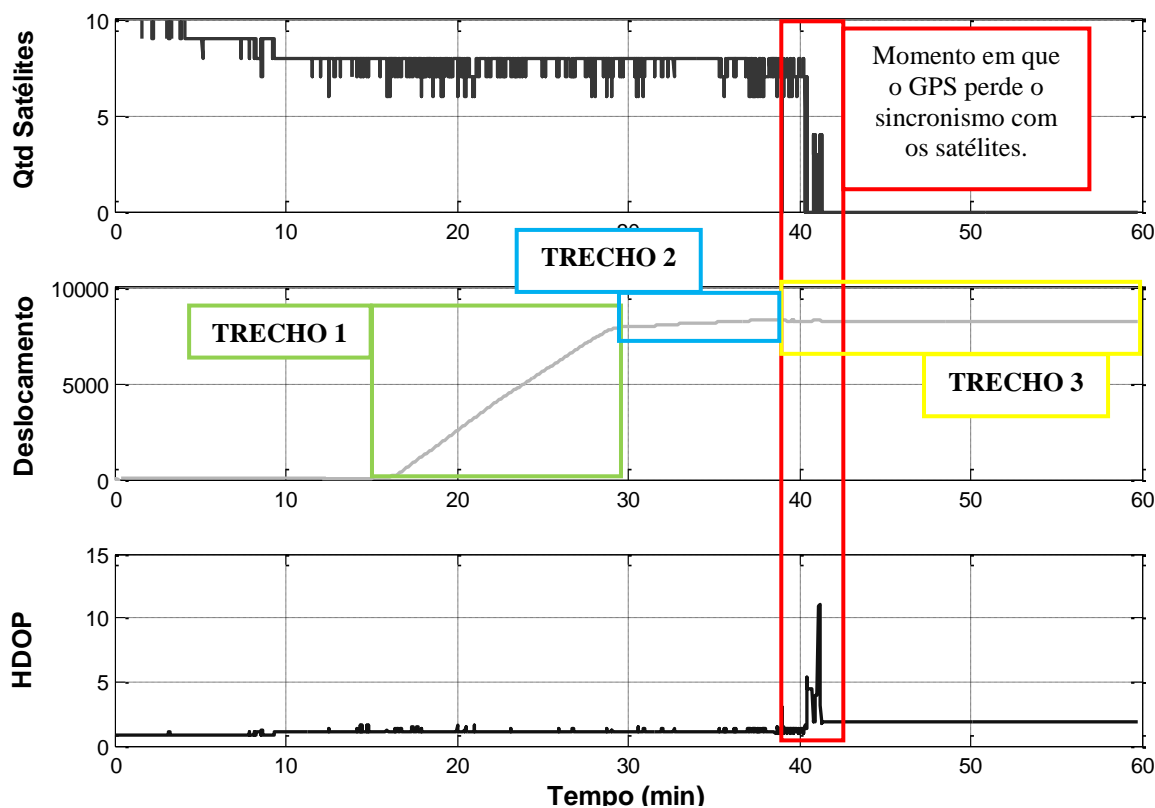


Figura 52 – Percurso utilizado para teste do GPS.

5.2. Acelerometria

5.2.1. Análise dos Sinais de Acelerometria – Perfil de Voga

A primeira análise, em voga baixa, foi realizada durante treinos sob diferentes condições climáticas e físicas. A Figura 53 mostra seis provas, em ordem cronológica, sendo as três primeiras coletas em 2011 (semanalmente espaçadas) e as três últimas coletadas em 2012 (semanalmente espaçadas), realizadas pelo remador MASC_SKIFF com voga média entre 18 e 20. Todos os sinais foram coletados em dias diferentes e somente são apresentados os primeiros tiros de cada dia.

O sinal do primeiro dia apresenta as primeiras remadas (destacadas em verde) com comportamento bem diferenciado em relação aos outros dias. Isto pode significar que o atleta encurtou a remada para acelerar inicialmente o barco, como é de costume, enquanto que nos outros dias o barco poderia estar em movimento quando o atleta

iniciou a descida da raia e, por isso, foi possível iniciar o percurso com remada completa. Nos dias 4 e 5 também é possível ver que as primeiras remadas são um pouco mais curtas do que nos dias 2, 3 e 6 mostrando um padrão de aceleração diferente.

Os sinais dos dias 4 e 5 foram coletados com vento fraco lateral que gerou marola na mesma direção, isto explica a maior dispersão dos picos negativos que são o momento em que a pá inicia seu contato com a água. Além disso, a instabilidade gerada pela marola também pode ser observada através do comportamento dos picos positivos que vão reduzindo de amplitude e se deslocando para a direita ao longo da prova. Isto pode indicar fadiga devido ao maior esforço do atleta para manter o ritmo.

O índice de deslocamento por remada (Tabela 3) para o Dia 5 manteve-se dentro da média, o que não pode ser dito para o Dia 4, já que seu índice apresentou uma queda de 0,31 m em relação à média.

Não é possível descartar a hipótese de que as forças de arrasto, devido as condições climáticas adversas, tenham sido maiores no Dia 4, mas, analisando o sinal de aceleração, é possível notar dois fatores que podem ter contribuído para a queda do índice de deslocamento por remada: houve grande variação da voga instantânea associada a picos duplos de aceleração negativa que indicam dificuldade de entrada da pá na água no momento do *catch*.

Tabela 3 – Deslocamento por remada para a voga 20 da primeira etapa da análise do perfil de remada do atleta MASC_SKIFF. A última coluna representa a média de todos os resultados.

Voga 20	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Média
Desloc. Médio (m)	11,45	11,31	11,04	10,89	11,32	11,31	11,2
Desvio Padrão	0,89	0,80	1,06	0,72	0,64	0,74	0,8

Outro ponto que pode ser destacado são os picos secundários antes e depois do pico máximo de aceleração. Kleshnev (2007) descreve o primeiro pico como resultante do momento de maior velocidade das pernas e o segundo pico como consequência da transferência da energia cinética acumulada pelo remador na fase de *drive* para o barco no início da fase de *recovery*. Para o atleta MASC_SKIFF não são identificados picos secundários antes do pico máximo, mas o pico de transferência de energia é bem marcado, com amplitude de aproximadamente 1 m/s^2 em todos os sinais.

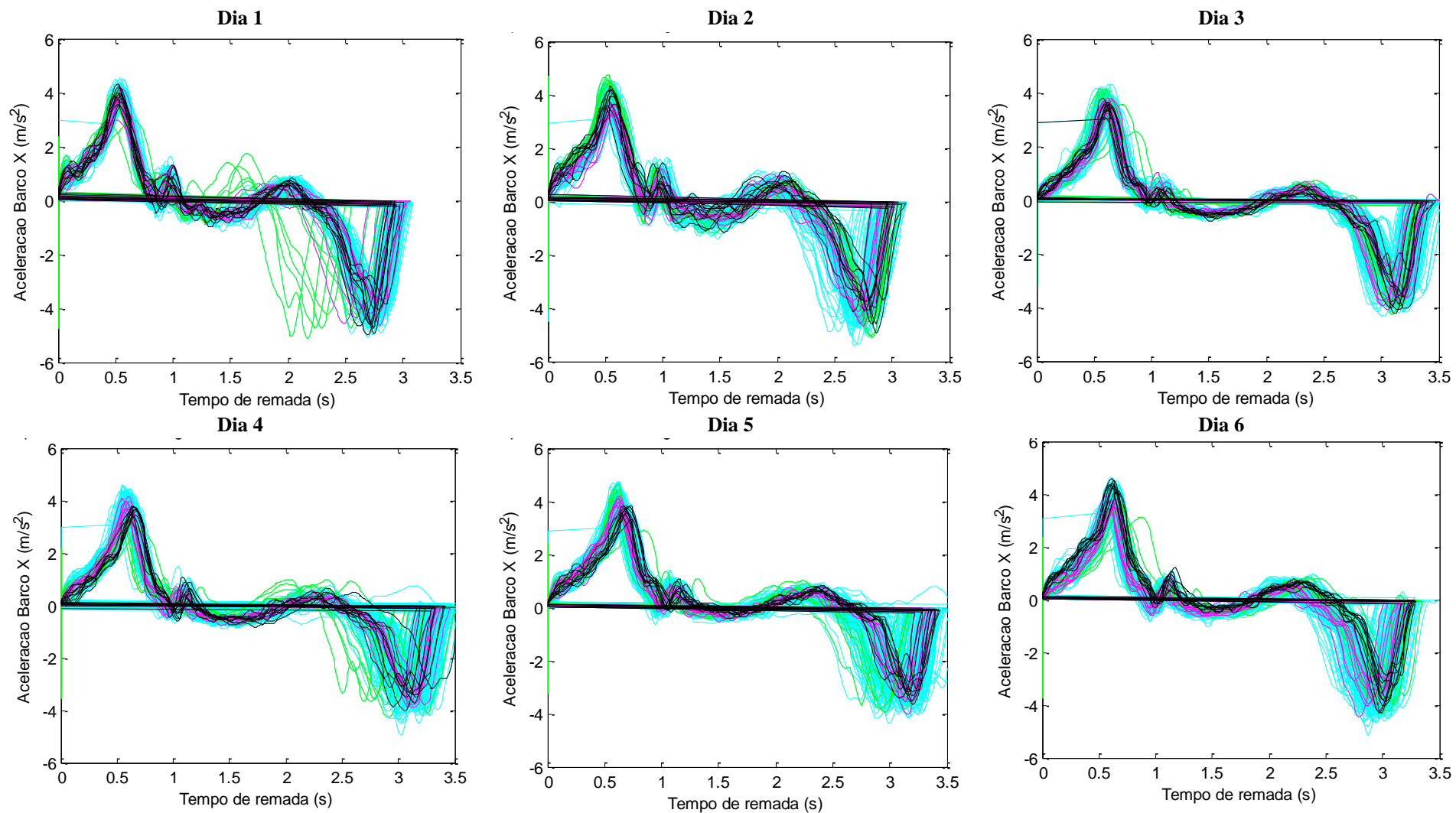


Figura 53 – Remadas sobrepostas em voga 20 para análise do perfil de aceleração do remador MASC_SKIFF. Os sinais estão apresentados em ordem cronológica, do mais antigo até o mais recente.

Apesar de todas as diferenças entre os sinais da Figura 53, foi possível identificar uma divisão característica da proporção de cada fase da remada para o remador MASC_SKIFF (Tabela 4). Seu padrão de divisão é de 31% para fase ativa, 45% para fase neutra e 24% para fase negativa.

A razão *drive/recovery* média foi de 0,46 indicando que há oportunidade de melhoria na distribuição destas proporções uma vez que esta razão se encontra inferior a de 1:2 (0,5) considerada ideal por Redgrave (1995). Apesar disto Kleshnev (2003) mostra que esta relação costuma variar com relação a voga mesmo nos atletas de ponta e costuma estar em torno de 0,43 para a voga 20. Isto pode significar que o remador MASC_SKIFF pode estar perdendo muito tempo na fase de drive, ainda mais se considerarmos que no trabalho de Kleshnev ele considera que o drive começa antes mesmo do pico de desaceleração e, no neste trabalho consideramos que o drive inicia exatamente no pico negativo.

Tabela 4 – Proporção das fases positiva, negativa e neutra e razão *drive/recovery* para os sinais em voga 20 do atleta MASC_SKIFF.

	Positivo (%)	Neutro (%)	Negativo (%)	Razão D/R
Dia 1	29,5	46,0	24,1	0,42
Dia 2	28,6	45,8	25,3	0,42
Dia 3	34,0	45,5	20,2	0,54
Dia 4	30,1	45,6	24,0	0,43
Dia 5	31,7	42,4	25,6	0,49
Dia 6	30,7	43,7	25,3	0,45
Média	30,7	44,8	24,2	0,46

O período das remadas também pode ser observado através da Figura 53. Para vogas entre 18 e 20, espera-se um período médio entre 3,0 e 3,3 segundos. Através da Tabela 5 é possível ver que a dispersão é maior para vogas próximas a voga 18 e reduz conforme se aproxima da voga 20, o que pode indicar que há um ponto ótimo de equilíbrio entre técnica e voga; ou seja, a melhor execução de técnica não ocorrerá necessariamente na voga mais baixa, mas sim a voga mais confortável para o atleta.

Tabela 5 – Período das remadas para voga 20 do atleta MASC_SKIFF.

	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6
Período Médio (s)	2,95	2,96	3,38	3,34	3,31	3,20
Desvio Padrão	0,12	0,09	0,16	0,14	0,14	0,10

A segunda análise realizada em treinos com vogas diferentes é apresentada a seguir. Seis sinais de aceleração em vogas 20, 24, 28, 30, 32 e 34 remadas/minuto, respectivamente, são apresentadas da Figura 54 até a Figura 59.

Através da análise destes sinais, é possível perceber que as vogas 20 e 24 apresentam maior sobreposição de ciclos, indicando provas mais técnicas e com voga controlada. Isto é ratificado pelo *boxplot* da Figura 60 onde estas vogas apresentam a menor dispersão de todas as vogas analisadas, com desvio padrão menor que 1,5 remadas/minuto (vogas 20 e 24), enquanto para vogas mais altas o desvio chega a 4 remadas/minuto (voga 32).

É importante destacar que o sinal de voga 20 desta etapa da análise não foi o mesmo utilizado na primeira para que não fossem gerados resultados enviesados.

Para as vogas 28 e 30 há um grande espalhamento das remadas, sendo a maior dispersão na transição entre a fase de *recovery* e de *drive*, o que pode indicar um encurtamento do *recovery* para que uma voga mais alta seja alcançada.

Nas vogas 32 e 34 nota-se uma mudança do perfil de aceleração, pois os ciclos variam em todas as fases da remada, indicando que em vogas mais altas o atleta apresenta dificuldades de manter a técnica.

Nos perfis de aceleração acima da voga 28 também é notado o início da formação de picos secundários de aceleração antes do pico máximo do *drive*. Isto é mais um indicativo de que há uma mudança do perfil de aceleração de MASC_SKIFF em vogas elevadas.

Através dos perfis também é possível notar que para vogas mais altas, há uma maior sensibilidade na magnitude dos picos de frenagem, enquanto os picos de aceleração variam em uma faixa menor. Isto fica mais evidente quando nas vogas 32 e 34, onde há grande variação de voga dentro da mesma prova. Através do *boxplot* da Figura 61 percebe-se que a variação dos picos de frenagem na estão faixa de $-3,5$ a $-8,0$ m/s^2 , aproximadamente $4,5$ m/s^2 de excursão, contra $1,5$ m/s^2 de excursão dos picos de aceleração ($4,0$ a $5,5$ m/s^2).

Analisando as tabelas que acompanham os *boxplots* (Figura 60 e Figura 61) é possível notar que a média e a mediana dos parâmetros avaliados se encontram muito próximas, indicando que há poucos *outliers*. Os existentes são, em sua maioria, devido ao comportamento diferenciado das primeiras remadas referentes à fase de largada. Apenas em

alguns casos com condições climáticas mais intensas (ver voga instantânea para voga 24) ou voga elevada (ver picos de aceleração e frenagem para as vogas 32 e 34) também pode ser observado o aumento da quantidade de *outliers*.

O deslocamento por remada (Tabela 6) reduziu com o aumento da voga, como era de se esperar (Kleshnev, 2001), o que não significa que o atleta não é capaz de aumentar a velocidade do barco proporcionalmente ao aumento de voga. Esta relação é não linear e o resultado final só pode ser avaliado com a medida direta da velocidade do barco. Não foram apresentados valores para as vogas 30, 32 e 34, pois não houve registo de posição com o GPS durante estes testes.

Tabela 6 – Deslocamento por remada por voga de MASC_SKIFF.

Voga	20	24	28	30	32	34
Desloc. Médio (m)	10,62	9,95	9,49	-	-	-
Desvio Padrão	0,78	0,51	0,60	-	-	-

Em relação ao comportamento das fases da remada com a variação da voga, a Tabela 7 mostra que, para o atleta MASC_SKIFF, apesar de a fase negativa se manter entre 25% e 27% da remada, com o aumento da voga há também o aumento da proporção de fase positiva. Este fenómeno caracteriza a redução da fase neutra em detrimento do aumento de voga. Esta redução da fase neutra resulta em um aumento da razão D/R que inicia em 0,44 para voga 20 e chega a 0,56 para voga 34.

Tabela 7 – Proporção de fases e razão *drive/recovery* por voga do atleta MASC_SKIFF.

	Positivo (%)	Neutro (%)	Negativo (%)	Razão D/R
Referência	30,7	44,8	24,2	0,46
Voga 20	30,4	43,7	25,5	0,44
Voga 24	34,7	37,6	27,4	0,48
Voga 28	43,5	29,1	27,0	0,51
Voga 30	46,5	26,6	26,6	0,56
Voga 32	42,7	30,8	26,0	0,55
Voga 34	55,9	16,9	26,6	0,56

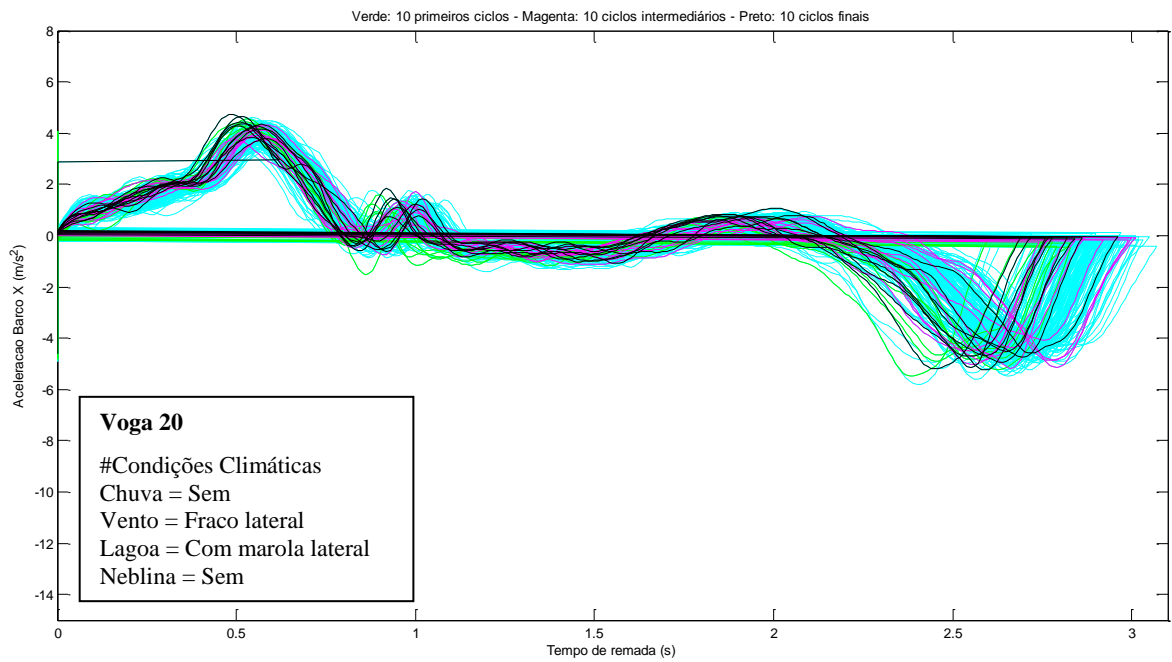


Figura 54 – Remadas sobrepostas em voga 20 para o remador MASC_SKIFF.

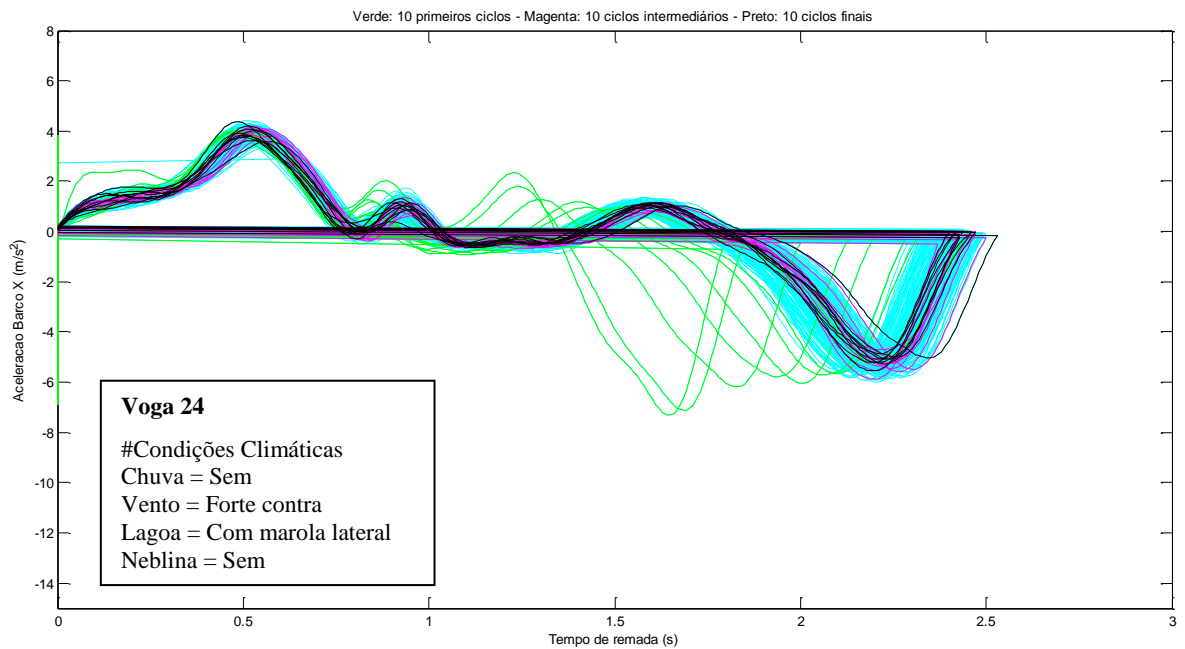


Figura 55 – Remadas sobrepostas em voga 24 para o remador MASC_SKIFF.

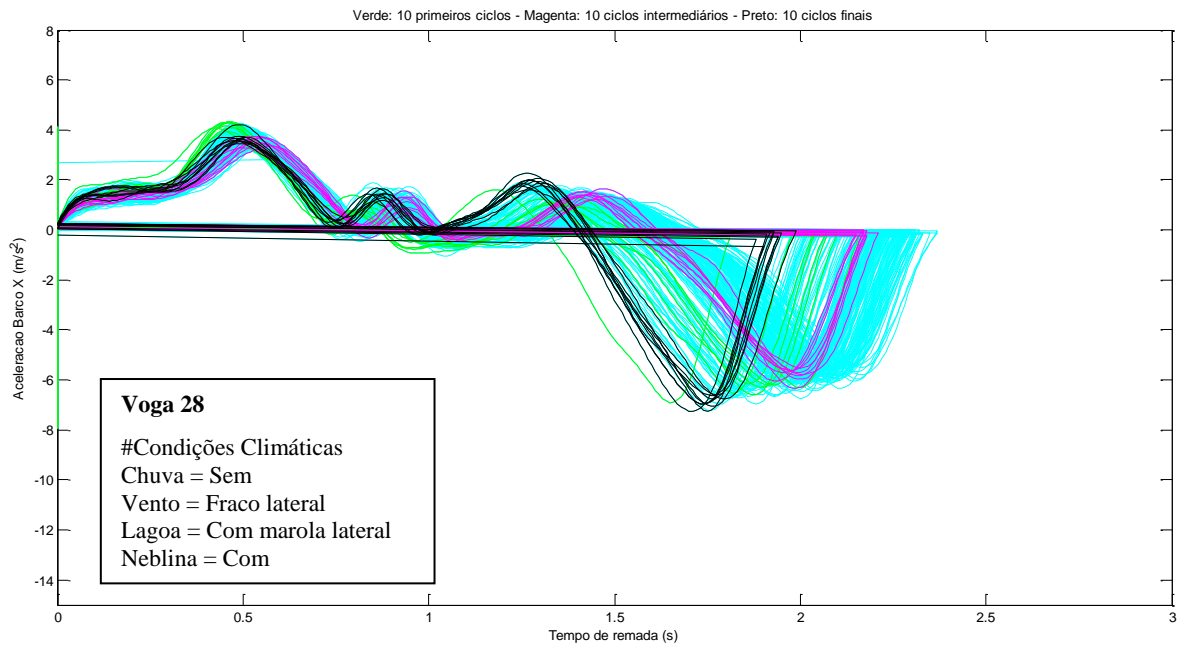


Figura 56 – Remadas sobrepostas em voga 28 para o remador MASC_SKIFF.

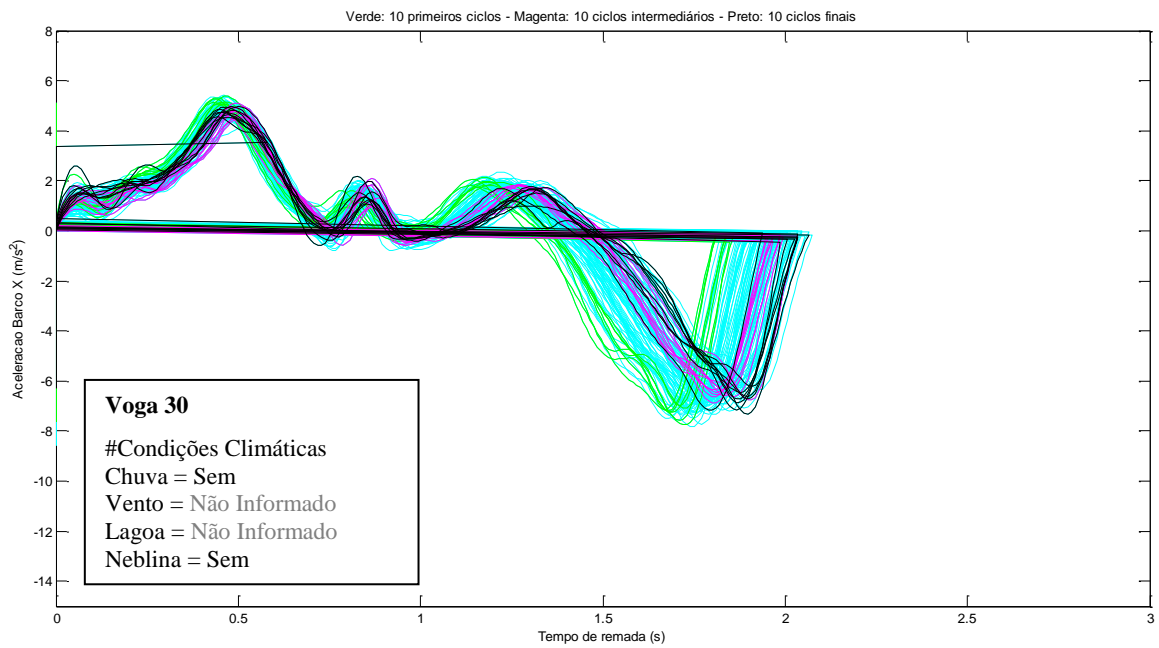


Figura 57 – Remadas sobrepostas em voga 30 para o remador MASC_SKIFF.

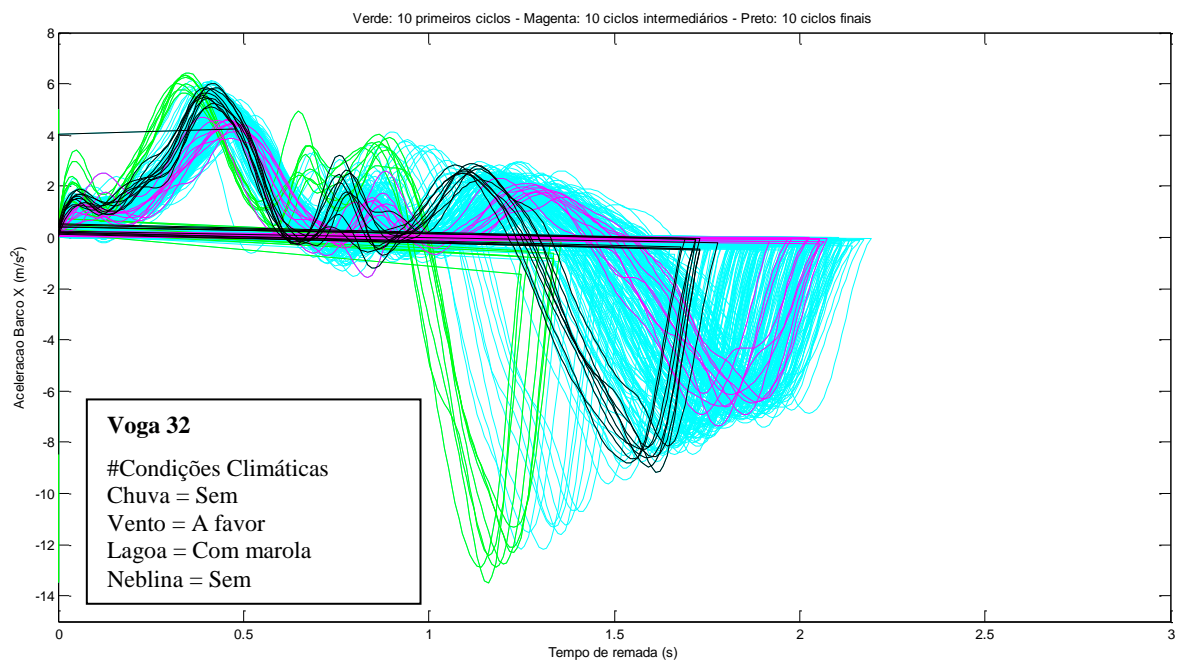


Figura 58 – Remadas sobrepostas em voga 32 para o remador MASC_SKIFF.

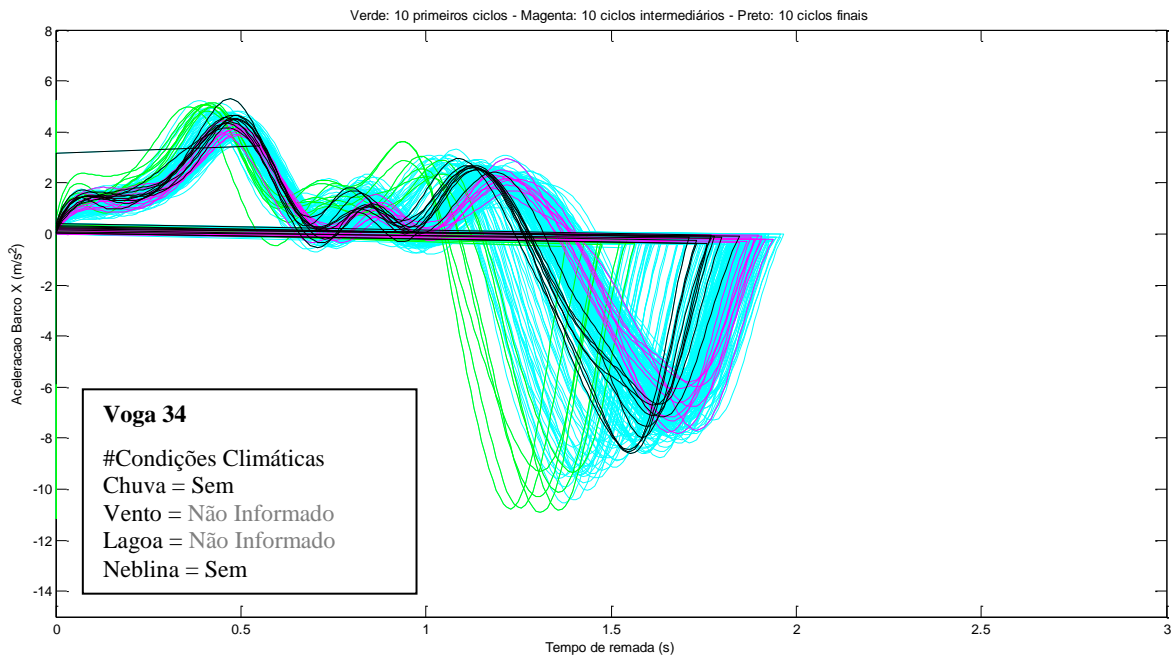
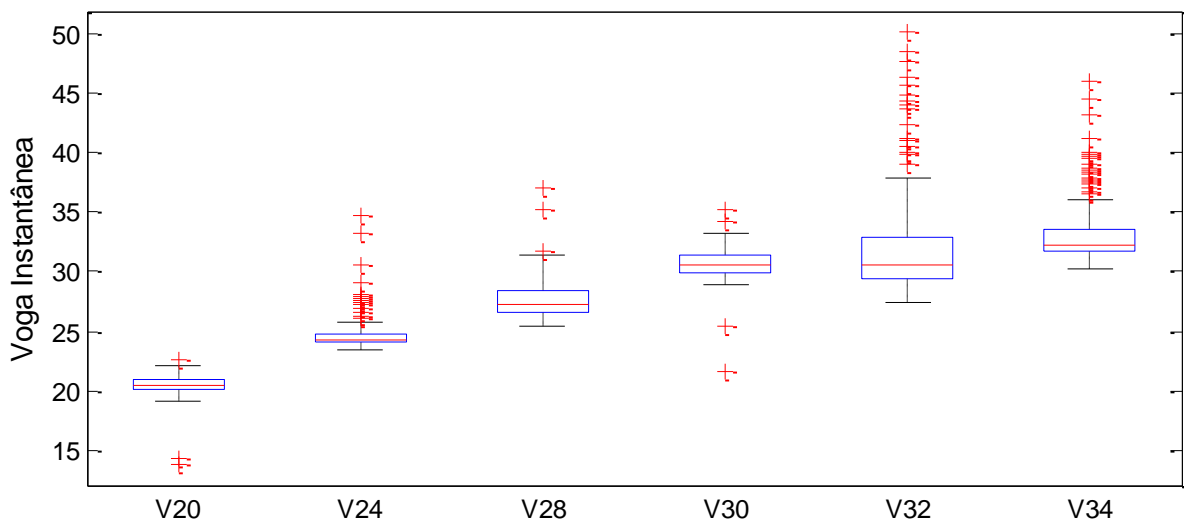
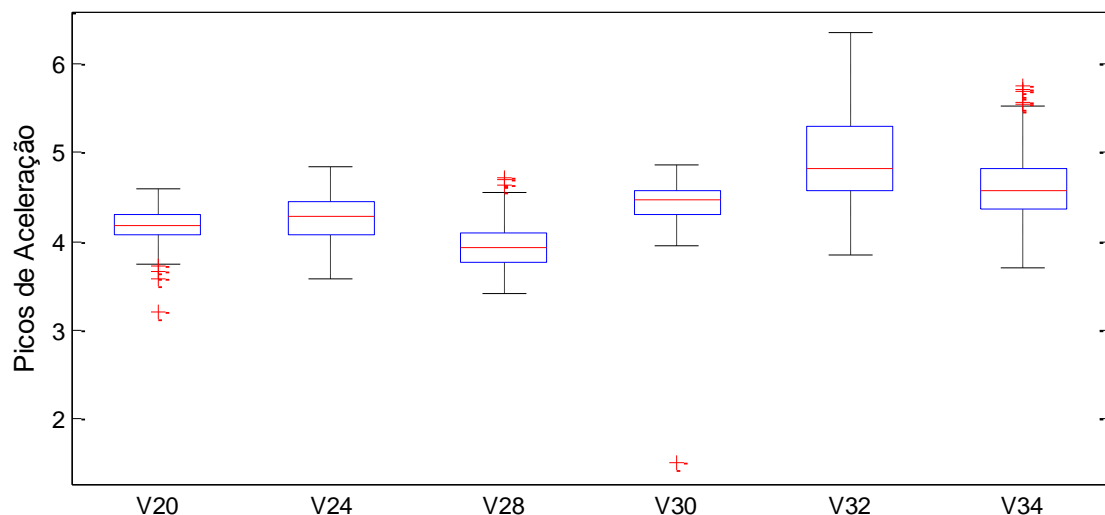


Figura 59 – Remadas sobrepostas em voga 34 para o remador MASC_SKIFF.

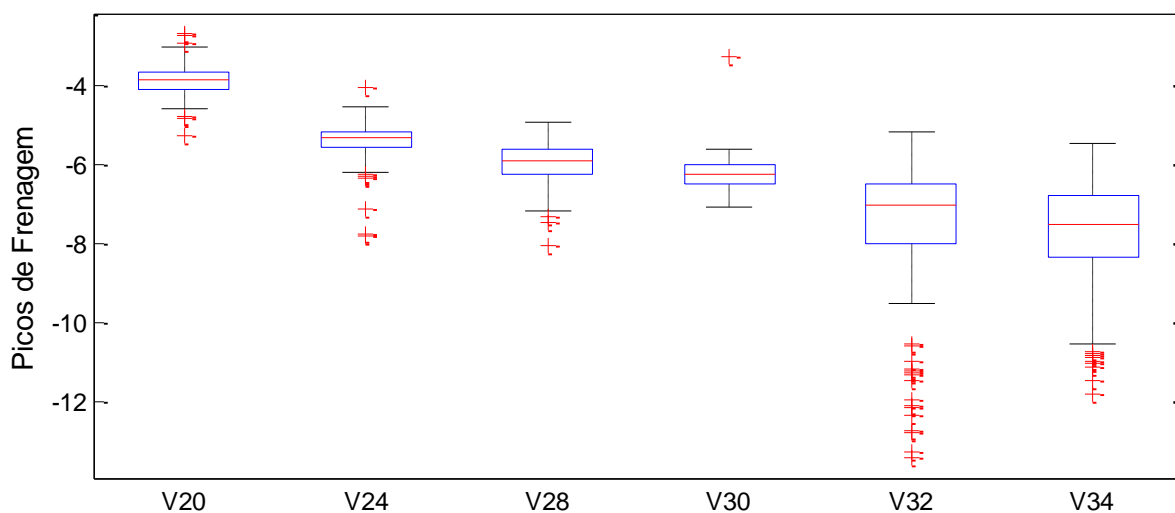


Voga	20	24	28	30	32	34
Média	20,5	24,7	27,7	30,6	31,8	33,1
Mediana	20,5	24,4	27,2	30,5	30,5	32,2
Desvio Padrão	0,8	1,3	1,6	1,5	4,1	2,4

Figura 60 – Dispersão da voga instantânea para as 6 provas do remador MASC_SKIFF (vogas 20, 24, 28, 30, 32 e 34).



Voga	20	24	28	30	32	34
Média	4,17	4,27	3,95	4,42	4,96	4,62
Mediana	4,19	4,28	3,92	4,47	4,83	4,57
Desvio Padrão	0,19	0,24	0,26	0,33	0,53	0,37



Voga	20	24	28	30	32	34
Média	-3,85	-5,37	-5,94	-6,21	-7,46	-7,68
Mediana	-3,86	-5,31	-5,87	-6,23	-7,02	-7,49
Desvio Padrão	0,35	0,44	0,51	0,41	1,5	1,22

Figura 61 – Dispersão da magnitude dos picos de aceleração e frenagem para as 6 provas do remador MASC_SKIFF (vogas 20, 24, 28, 30, 32 e 34).

5.2.2. Análise dos Sinais de Acelerometria - Comparação entre Atletas

Além de analisar um atleta de forma isolada, também é possível comparar padrões entre remadores de uma mesma equipe ou com um remador referência, como por exemplo, o remador REF_SKIFF descrito na seção 4.6.

A Figura 62 mostra os perfis de aceleração em voga 20 para os atletas REF_SKIFF e MASC_SKIFF e também de dois atletas da categoria Sênior Livre do CRF, especialistas em guarnições de 4 ou 8 remadores (SENIOR_SKIFF_1 e SENIOR_SKIFF_2). Todos os sinais foram coletados em barcos do tipo *single skiff*.

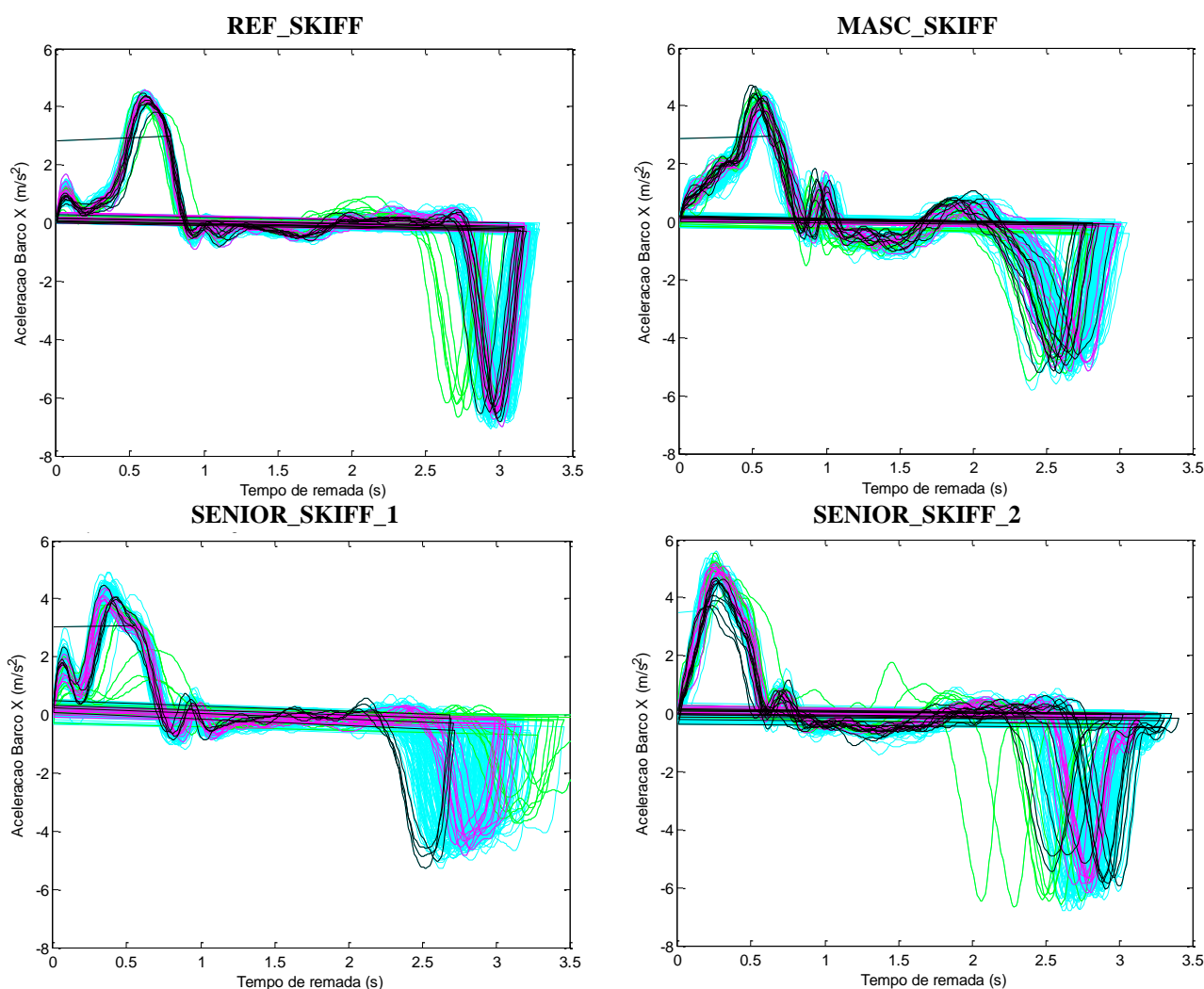


Figura 62 – Remadas sobrepostas em voga 20 para os remadores REF_SKIFF, MASC_SKIFF, SENIOR_SKIFF_1 e SENIOR_SKIFF_2.

Avaliando apenas os perfis de aceleração é possível notar que o atleta REF_SKIFF, que possui o acompanhamento regular com sistemas de apoio, apresenta um perfil de remada mais regular. Apesar disso, a inserção da pá na água ao final do *recovery* é mais eficiente para os atletas do CRF já que seus picos de frenagem apresentam menor magnitude.

Para os atletas da categoria sênior, apesar de possuírem mais de 10 anos de experiência, os perfis de aceleração apresentam grande dispersão de ciclos, principalmente na fase negativa (transição entre o *recovery* e o *drive*). Isso é explicado pelo fato de que quando há mais atletas em uma mesma guarnição, a estabilidade do barco é mais facilmente controlada já que, além do aumento da massa do sistema, há oito indivíduos contribuindo para uma voga mais elevada que resulta em uma menor variação da velocidade do barco (Kleshnev, 1996).

Fatores fisiológicos também podem afetar a dispersão dos ciclos. Apesar dos remadores SENIOR_SKIFF_1 e 2 serem muitos experientes, ambos estão na faixa etária de 40 a 50 anos e podem apresentar menor rendimento quando comparados a atletas mais jovens, como é o caso de REF_SKIFF e MASC_SKIFF.

Analisando os picos secundários antes e depois do pico máximo de aceleração, percebe-se que para o atleta REF_SKIFF e SENIOR_SKIFF_1 o primeiro pico é bem marcado, podendo indicar a utilização de um estilo onde os movimentos do tronco e das pernas são sequenciais. Para MASC_SKIFF e SENIOR_SKIFF_2, esta região não apresenta uma característica bem definida, sugerindo a predominância de movimentos simultâneos.

O segundo pico dos atletas do CRF são bem acentuados indicando que a sua transferência energia cinética ocorre de forma brusca o que pode provocar variações indesejadas de velocidade, aumentando a força de arrasto e contribuindo para a instabilidade do sistema. Para REF_SKIFF esta transição é mais suave, apesar de ocorrer em aceleração negativa. A presença do segundo pico na maioria dos remadores do CRF avaliados pode indicar uma característica do estilo adotado para treinamento dos atletas do clube.

Para verificar qual o estilo de remada mais eficiente, o mesmo índice utilizado na seção anterior, deslocamento por remada, pode ser avaliado. A Tabela 8 mostra este índice para os remadores MASC_SKIFF, REF_SKIFF, SENIOR_SKIFF_1 e SENIOR_SKIFF_2.

Tabela 8 – Deslocamento por remada em voga 20 para os remadores MASC_SKIFF, REF_SKIFF, SENIOR_SKIFF_1 e SENIOR_SKIFF_2.

	MASC_SKIFF	REF_SKIFF	SENIOR_1	SENIOR_2
Média	10,62	11,44	10,20	12,12
Desvio Padrão	0,78	0,77	0,77	0,77

Analisando o comportamento das fases da remada na Tabela 9 nota-se que REF_SKIFF apresenta a menor duração de fase negativa o que pode compensar o fato de que seu pico de frenagem é o maior de todos os atletas estudados.

Tabela 9 – Proporção das fases positiva, negativa e neutra e razão *drive/recovery* para REF_SKIFF, MASC_SKIFF e SENIOR_SKIFF_1 e 2 em voga 20.

	Positivo (%)	Neutro (%)	Negativo (%)	Razão D/R
REF_SKIFF	27,6	59,0	13,1	0,41
MASC_SKIFF	30,4	43,7	25,5	0,44
SENIOR_SKIFF_1	25,0	55,6	19,0	0,34
SENIOR_SKIFF_2	22,5	58,0	19,2	0,33

Os remadores SENIOR_SKIFF_1 e 2 apresentam as razões D/R muito menores, confirmando a hipótese de que seu condicionamento físico não é comparável ao de atletas mais jovens, o que resulta em uma fase de propulsão (fase positiva) reduzida. Em guarnições com mais remadores a força necessária para vencer a inércia do barco é dividida entre todos os integrantes, enquanto no *single skiff*, onde foram feitas as aquisições apresentadas, o atleta deve sozinho ser capaz de colocar e manter o barco em movimento.

Observando-se o período das remadas através dos perfis de aceleração, também é possível notar que, para o atleta SENIOR_SKIFF_1, este vai reduzindo gradativamente até chegar a aproximadamente 2,7 s nas últimas remadas e que, para o SENIOR_SKIFF_2, há uma grande variação de período entre 2,7 s e 3,4 s. Para os atletas MASC_SKIFF e REF_SKIFF esta variação é bem menor, resultando em ciclos mais regulares.

Esta mesma comparação entre estilos de remada é feita para os atletas da Figura 63. Todos são de alto desempenho e pertencem à equipe principal do CRF, sendo os remadores MASC_SKIFF e FEM_SKIFF também integrantes da Seleção Brasileira de Remo. Seus perfis de aceleração são apresentados em voga 24.

O primeiro perfil é referente ao atleta MASC_SKIFF, já apresentado na última discussão. O perfil FEM_SKIFF é de uma remadora da categoria *Single Skiff Leve* e o último perfil, SENIOR_SKIFF_3, é de um remador da categoria *Single Skiff Sênior Livre*. O remador SENIOR_SKIFF_3 possui ampla experiência em *single skiff*, apesar de atualmente competir em guarnições de 4 ou oito remadores.

Analisando os perfis de aceleração destes atletas, nota-se que o remador MASC_SKIFF apresenta maior sobreposição de ciclos e largada com voga elevada, reduzindo progressivamente até a voga alvo.

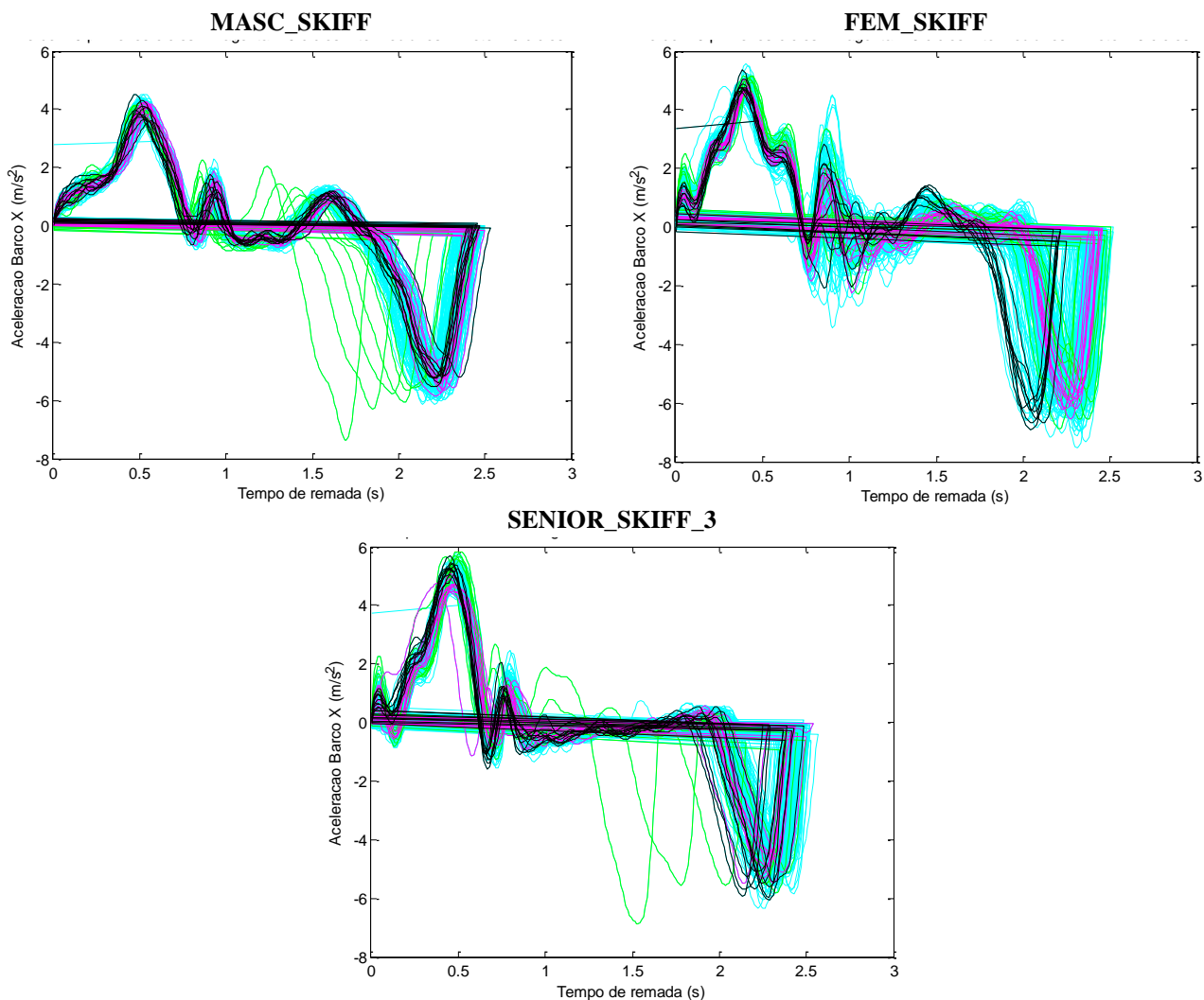


Figura 63 – Remadas sobrepostas em voga 24 para três atletas de alto desempenho da equipe principal do CRF: MASC_SKIFF, FEM_SKIFF e SENIOR_SKIFF_3.

A remadora FEM_SKIFF apresenta dois platôs na fase positiva, ainda não observados em nenhum outro atleta, além dos picos secundários discutidos por Kleshnev (2007), com grande variação de amplitude no pico referente à transferência de energia cinética para o barco. Sua largada já ocorre próxima à voga alvo, havendo apenas um pequeno ajuste nas primeiras remadas. É possível perceber também que ocorre um deslocamento temporal dos picos de frenagem para a esquerda nas últimas remadas, indicando que esta atleta tende a aumentar a voga ao final da prova.

Para SENIOR_SKIFF_3, também é observada uma largada em voga elevada como a de MASC_SKIFF, porém alcançando mais rapidamente a voga desejada, e um platô após o primeiro pico secundário, semelhante ao observado para FEM_SKIFF. Este atleta apresenta os picos de aceleração mais elevados dos atletas da Figura 63, alcançando quase $6,0 \text{ m/s}^2$, apesar de apresentar uma maior dispersão de picos de frenagem na fase negativa.

Analisando a proporção das fases da remada (Tabela 10), nota-se que o atleta SENIOR_SKIFF_3 apresenta uma divisão semelhante a dos atletas SENIOR_SKIFF_1 e SENIOR_SKIFF_2, apresentada na Tabela 9. Isto pode indicar que há divisão característica da adotada por atletas que remam em guarnições de 4 ou 8 remadores.

A atleta FEM_SKIFF apresenta o maior pico de frenagem quando comparada aos demais, mas, em compensação, apresenta a menor duração de fase negativa, exatamente como ocorre para o atleta REF_SKIFF na comparação de perfis da Figura 62.

Tabela 10 – Proporção das fases positiva, negativa e neutra e razão *drive/recovery* para MASC_SKIFF, FEM_SKIFF e SENIOR_SKIFF_3 em voga 24.

	Positivo (%)	Neutro (%)	Negativo (%)	Razão D/R
MASC_SKIFF	34,7	37,6	27,4	0,48
FEM_SKIFF	30,0	48,9	20,7	0,43
SENIOR_3	21,9	54,2	23,6	0,28

Não foi apresentado o índice de deslocamento por remada para estes atletas, pois não houve coleta com o GPS para FEM_SKIFF e SENIOR_SKIFF_3.

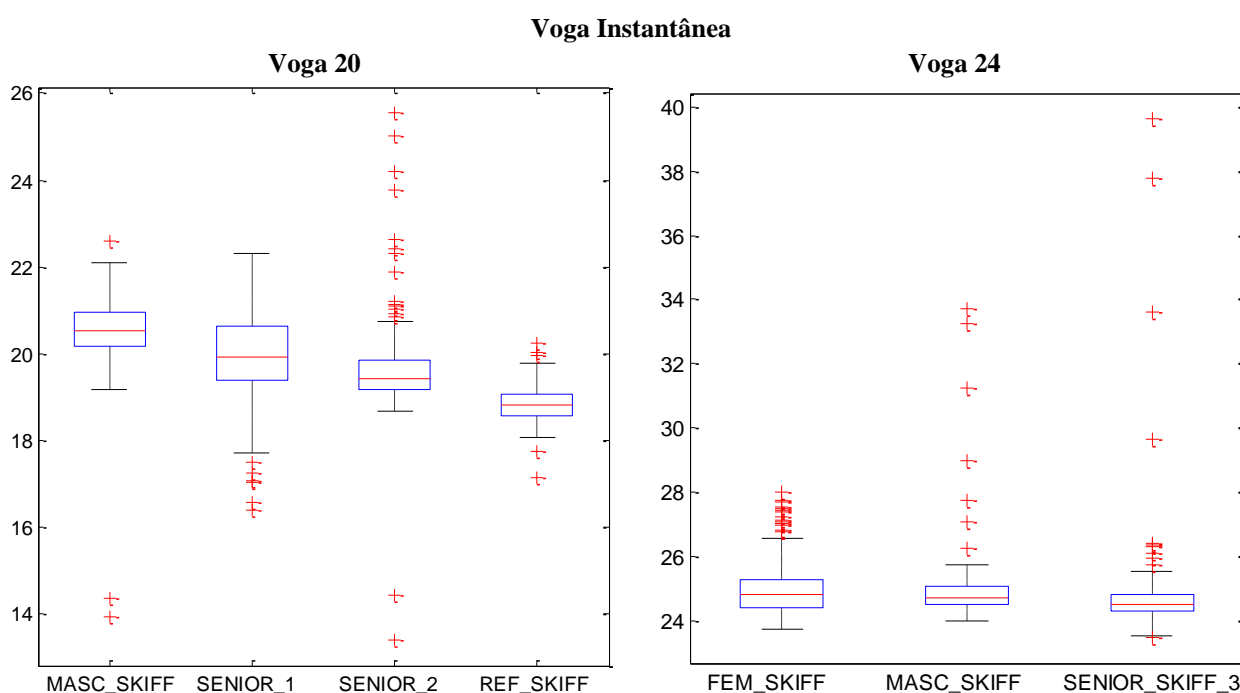
Para auxiliar a análise do comportamento do perfil de aceleração dos atletas apresentados nesta seção, também são apresentados *boxplots* para verificação da dispersão da voga instantânea (Figura 64), picos de aceleração (Figura 65) e picos de frenagem (Figura 66).

Os remadores SENIOR_SKIFF_1 e 2 apresentam o maior número de *outliers*, em voga 20, ratificando a dificuldade de adaptação destes atletas a um barco de categoria diferente da utilizada em seu dia a dia de treinamentos e competições. O atleta SENIOR_SKIFF_1 apresentou grande variação nos *boxplots* de picos de aceleração e frenagem (Figura 65 e Figura 66), indicando que esta dificuldade de adaptação também prejudica a técnica deste atleta já que se trata de um treinamento em voga baixa. O mesmo não ocorre para o atleta SENIOR_SKIFF_3, que possui uma parte de sua carreira dedicada ao *single skiff*. Percebe-se que este atleta possui uma variabilidade menor em todos os parâmetros apresentados (Figura 64 até Figura 66), além de uma quantidade reduzida de *outliers*.

Em voga 24, para os atletas MASC_SKIFF e SENIOR_SKIFF_3, que apresentaram largada em voga elevada e queda progressiva até a voga alvo, ocorreu a presença de *outliers* com maior amplitude nos *boxplots* de voga instantânea. Os *outliers* de FEM_SKIFF são devido à estratégia adotada por esta atleta, onde a voga é elevada apenas nas últimas remadas.

A constatação dos maiores picos de aceleração para o atleta SENIOR_SKIFF_3 também foi confirmada pelas informações apresentadas na Figura 65, sendo a média de 5,08 m/s² e a aceleração máxima alcançada de 5,87 m/s².

Apesar da presença de uma quantidade mais elevada de *outliers* nos *boxplots* apresentados, principalmente para os atletas SENIOR_SKIFF_1, 2 e 3; a média e a mediana dos parâmetros avaliados se continuaram muito próximas. Este fato mostra que este tipo de ferramenta não é muito eficiente para acompanhamento dos parâmetros uma vez que, em alto desempenho, os resultados das competições são definidos por este tipo de detalhe, sendo importante seu destaque.

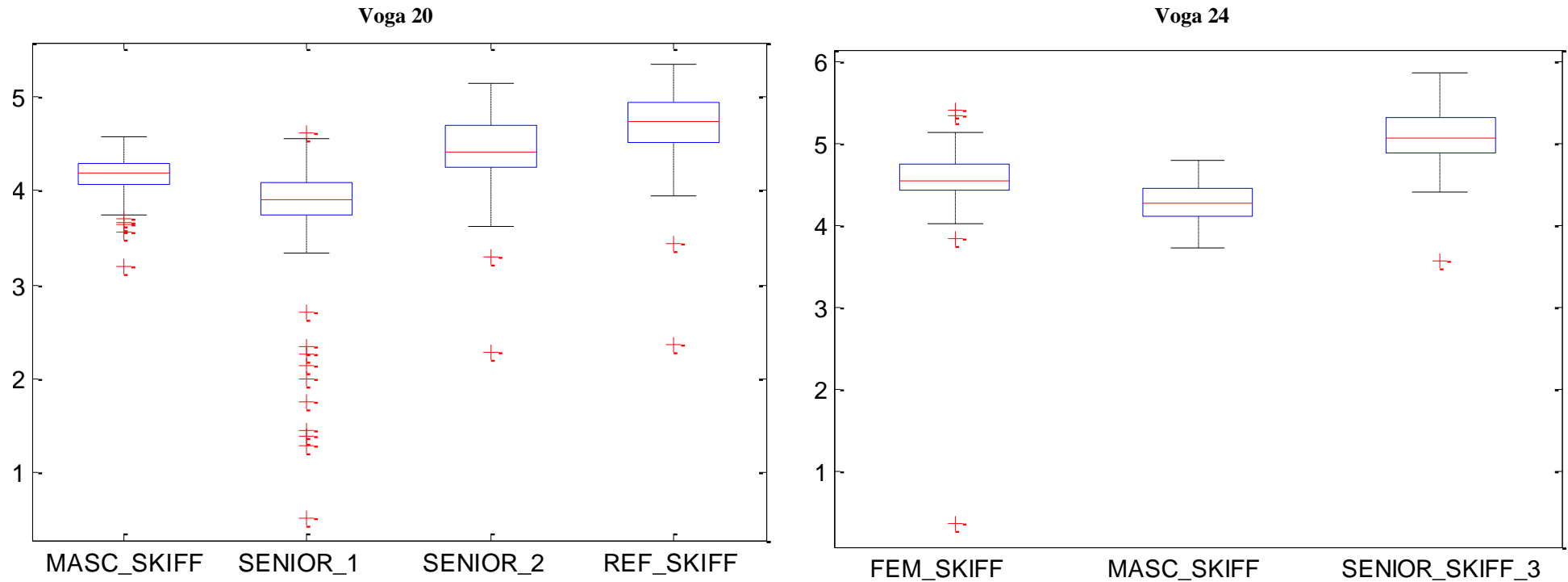


Atleta	MASC_SKIFF	SENIOR_1	SENIOR_2	REF_SKIFF
Média	20,5	19,9	19,7	18,8
Mediana	20,5	19,9	19,4	18,8
Desvio Padrão	0,9	1,0	1,3	0,4

Atleta	FEM_SKIFF	MASC_SKIFF	SENIOR_3
Média	25,0	24,9	24,8
Mediana	24,8	24,7	24,5
Desvio Padrão	0,9	1,1	1,7

Figura 64 – Dispersão da Voga Instantânea para os atletas apresentados na seção 5.2.3.

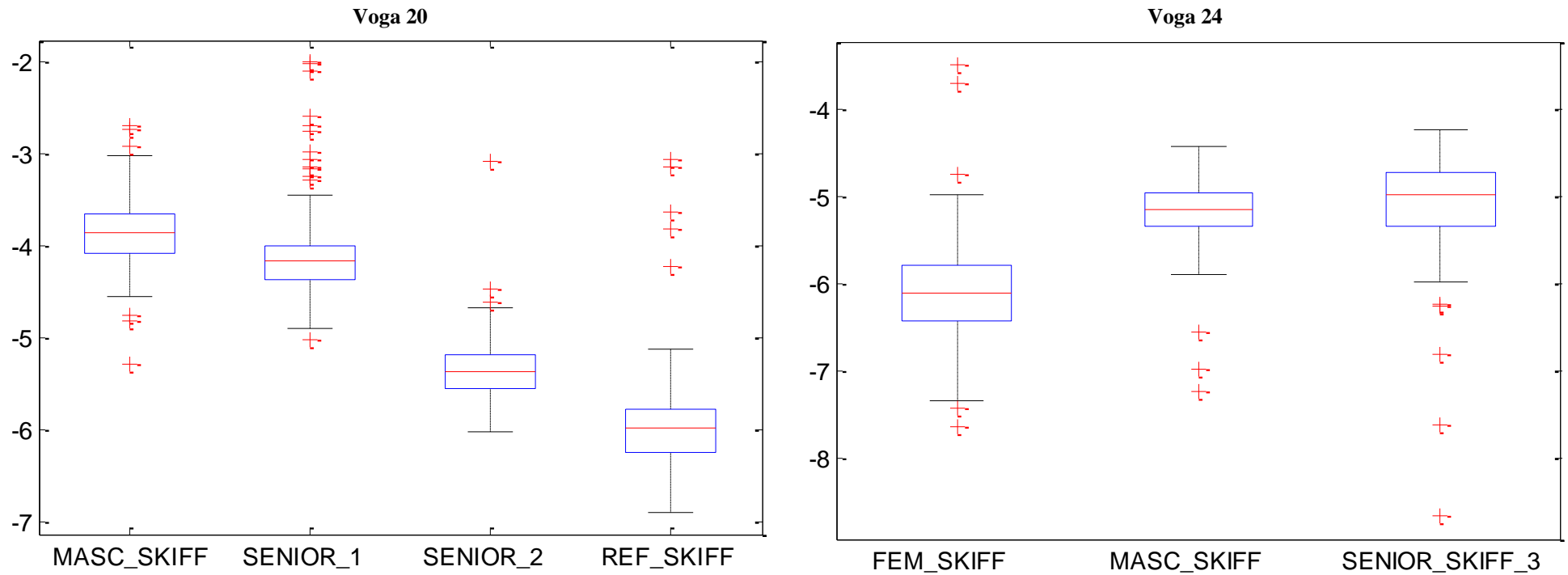
Picos de Aceleração



	Voga 20					Voga 24		
Atleta	MASC_SKIFF	SENIOR_1	SENIOR_2	REF_SKIFF		FEM_SKIFF	MASC_SKIFF	SENIOR_3
Média	4,17	3,84	4,45	4,71		4,57	4,28	5,08
Mediana	4,19	3,90	4,42	4,74		4,54	4,28	5,07
Desvio Padrão	0,19	0,53	0,39	0,34		0,25	0,22	0,33

Figura 65 – Dispersão dos Picos de Aceleração para os atletas apresentados na seção 5.2.3.

Picos de Frenagem



	Voga 20					Voga 24		
Atleta	MASC_SKIFF	SENIOR_1	SENIOR_2	REF_SKIFF		FEM_SKIFF	MASC_SKIFF	SENIOR_3
Média	-3,85	-4,12	-5,34	-5,94		-6,12	-5,17	-5,07
Mediana	-3,86	-4,17	-5,36	-5,98		-6,11	-5,14	-4,98
Desvio Padrão	0,35	0,44	0,35	0,53		0,50	0,35	0,53

Figura 66 – Dispersão dos Picos de Frenagem para os atletas apresentados na seção 5.2.3.

5.2.3. Acelerometria para o Dois Sem

Para ilustrar o perfil de voga no caso de mais de um remador, foram coletados sinais de uma guarnição do tipo Dois Sem Feminino Leve. Foram utilizadas as mesmas remadoras em todos os testes e todos os sinais apresentados foram coletados em dias diferentes. Para fins de comparação também foi coletado um sinal de uma guarnição Dois Sem Masculino Leve. Os perfis de aceleração para cada coleta estão ilustrados na Figura 67.

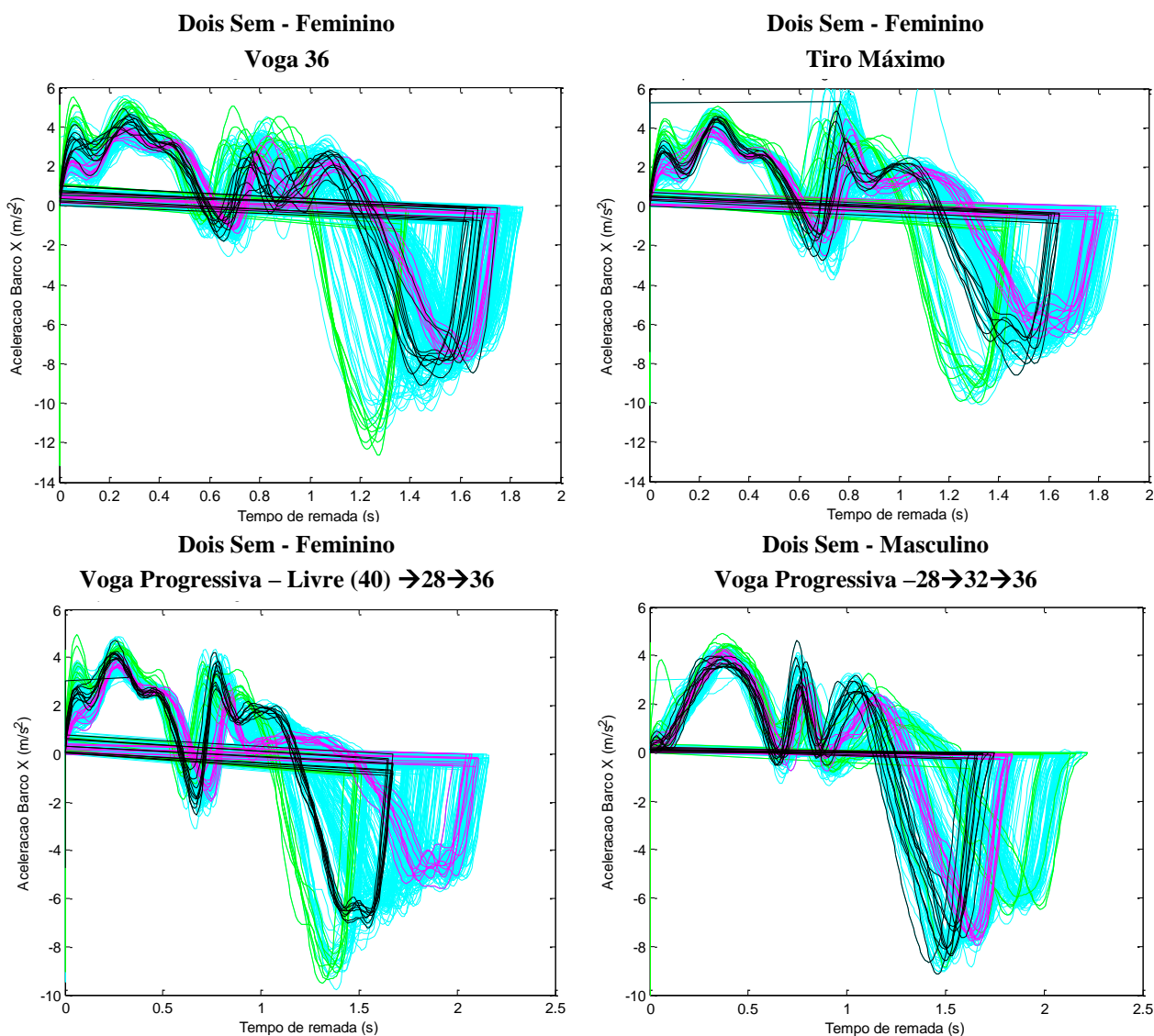


Figura 67 – Remadas sobrepostas para guarnição do tipo Dois Sem Feminino Leve e Masculino Leve.

Nota-se que para a guarnição feminina ainda há problemas com sincronismo entre as atletas, pois os picos de frenagem apresentam dois mínimos indicando que a entrada da pá na água está ocorrendo em momentos distintos para cada uma. Além disso, durante a fase positiva, pode ser observado um platô se formando após o pico principal de aceleração, indicando que uma das atletas apresenta uma fase de propulsão mais extensa.

No caso do Dois Sem Feminino também foi possível identificar a presença dos picos secundários antes e depois do pico principal de aceleração. Sendo o primeiro mais marcado na largada (destacada em verde) e nas remadas finais (destacadas em preto) e o segundo bem evidente durante toda a prova, chegando a igualar em amplitude com o pico principal.

A equipe do Dois Sem Masculino apresentou um sinal mais regular, com fases positiva e negativa sem picos secundários ou indicação de falta de sincronismo. Também foi observado um pico secundário muito marcado após a fase de *drive*, com amplitude média em torno de 80% do pico de aceleração positiva e chegando a valores maiores nas remadas finais.

As diferenças encontradas entre as equipes podem ser atribuídas principalmente a um fator: a equipe masculina já rema regularmente em conjunto nesta categoria, já a equipe feminina estava passando por testes de composição de equipe. Este fato mostra que o sistema é capaz de detectar qual a melhor combinação de atletas para composição de equipes provando sua funcionalidade como ferramenta de apoio para a equipe técnica.

5.3. Outros Sensores

5.3.1. GPS

Com o sinal de deslocamento gerado a partir das informações fornecidas pelo GPS foi possível traçar o percurso dos barcos durante percursos realizados na lagoa Rodrigo de Freitas, no Rio de Janeiro. Através desse traçado pode-se observar se o remador, ou equipe, foi capaz de manter uma trajetória em linha reta, dentro da raia definida para a embarcação na prova.

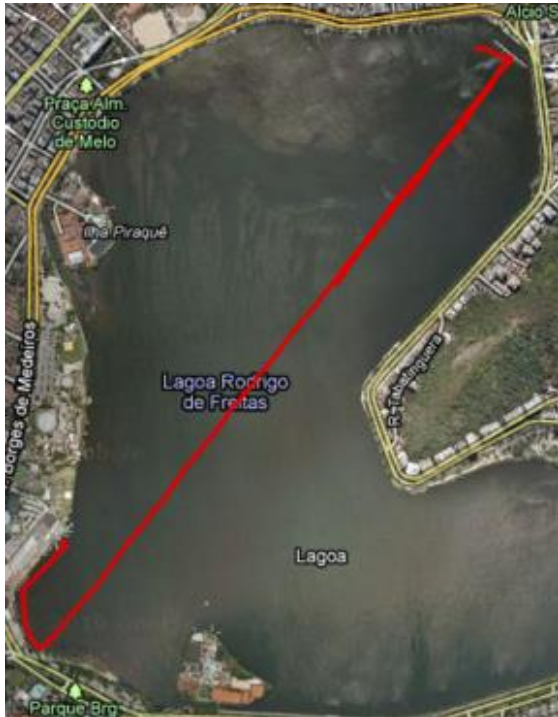
Comparando os dois percursos da Figura 68, percebe-se que a equipe do Quatro Sem realizou um percurso “não muito retilíneo”, o que ocasionou uma prova com mais de 2000 m e uma colocação em 4º lugar na competição. Já o Oito Com realizou um percurso mais regular, finalizando a prova em 1º lugar.

A presença de curvas no percurso pode indicar desbalanceamento. Em uma guarnição de palamenta simples, se os atletas a bombordo apresentarem uma propulsão muito superior aos atletas a boreste, ou vice-versa, será natural a aparição de curvas, pois a embarcação tenderá a se deslocar preferencialmente para um dos lados.

Raciocínio semelhante pode ser utilizado para um *single skiff*, isto é, se um atleta apresentar desbalanceamento na aplicação de forças ele tenderá a se deslocar lateralmente em direção ao lado predominante. O Atleta 1 da Figura 69 apresentou um percurso regular, enquanto o Atleta 2 apresenta “curvas”, sendo a mais acentuada ao final do tiro, podendo

indicar desbalanceamento, ou até mesmo a ocorrência de algum evento, já que, apesar de ter sido solicitado um percurso de 2000 m, o atleta não realiza a largada do pontão, iniciando a descida da raia em um ponto intermediário, o que caracteriza uma prova mais curta.

OITO COM



QUATRO SEM

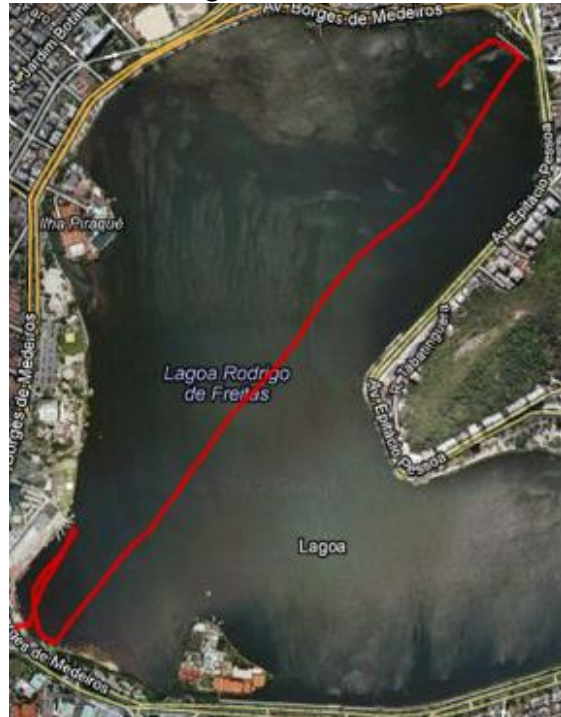
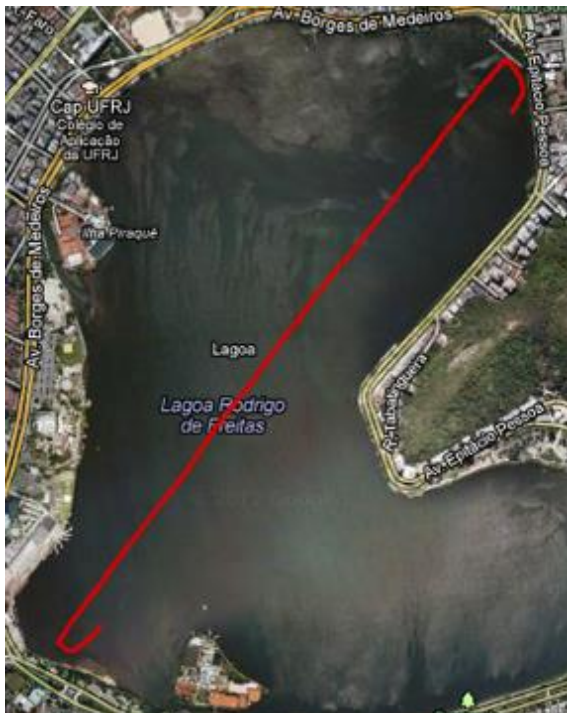


Figura 68 - Percursos de dois barcos, um Oito Com e um Quatro Sem, em provas de 2000m na Lagoa Rodrigo de Freitas - Campeonato Brasileiro de 2011.

ATLETA 1



ATLETA 2

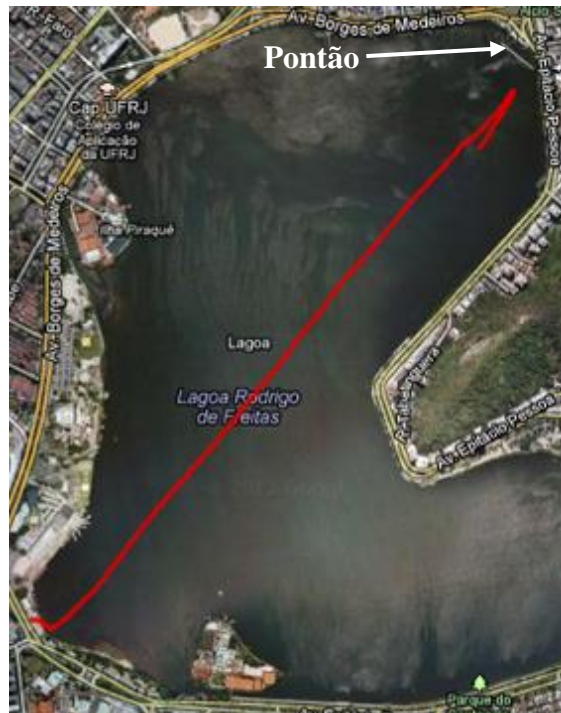


Figura 69 - Percursos de dois barcos do tipo *single skiff*. O percurso da esquerda é referente ao remador REF_SKIFF e o da direita referente a MASC_SKIFF.

Apesar do traçado do percurso apenas proporcionar uma análise qualitativa do desbalanceamento de um atleta ou de uma guarnição, ele pode servir como um fator para auxílio na decisão de realização de teste com sensores específicos nos remos. Assim, um atleta ou guarnição que não apresente indicação de desbalanceamento não precisa ser submetido a um teste com sensores de contato desnecessariamente, sendo este teste apenas reservado para quantificação de problemas nos casos que realmente apresentarem necessidade de avaliação mais aprofundada, como é o caso do Quatro Sem da Figura 68 e do *Single Skiff* do Atleta 2 da Figura 69.

5.3.2. Sensores Externos

Para teste da funcionalidade da arquitetura modular do sistema foram realizadas também algumas coletas com o cabo de acelerometria do remador e com os goniômetros potenciométricos.

A Figura 70 mostra curvas de aceleração do barco no eixo de *surge*, do tronco do remador e do carrinho, obtidas em aquisições realizadas com os remadores do CRF.

Nos sinais de aceleração do tronco nota-se que as reversões de sentido ocorrem exatamente nos momentos de *catch* (pico negativo da aceleração do barco) e *finish* (início do platô de aceleração negativa do barco), como esperado.

Os sinais de aceleração do carrinho não apresentaram um padrão bem definido em nenhuma das coletas realizadas. Isto indica que a realização do acompanhamento do sinal de aceleração pode não ser a melhor forma de acompanhamento do movimento do carrinho.

A Figura 71 um exemplo de sinal de posição angular e como é realizada a leitura das informações desejadas. A referência de 0° utilizada foi o momento em que o remo se encontra perpendicular ao barco. Os sinais do remo esquerdo e direito serão sobrepostos de forma a proporcionar uma melhor percepção de desbalanceamentos. O atleta que produziu os resultados mostrados na figura alcança ângulos de *catch* e *finish* muito próximos, indicando que nesse caso não há problemas de desbalanceamento dos remos.

Através da análise dos sinais de amplitude de remada foi possível constatar que as inclinações referentes às fases de *drive* e *recovery* também respeitam a razão ideal preconizada por Redgrave (1995). Isto já era esperado uma vez que esta razão define uma proporção temporal das fases da remada.

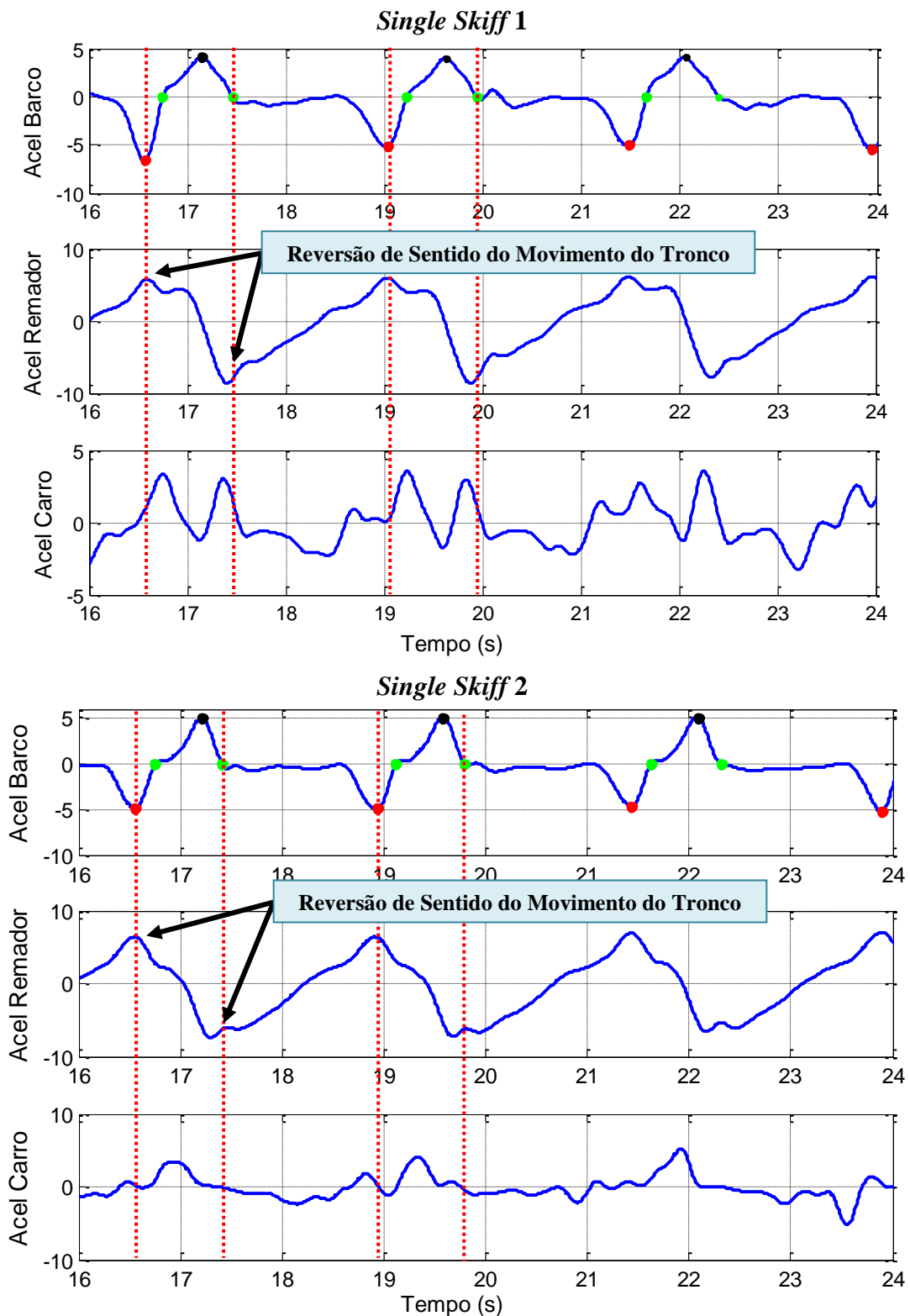


Figura 70 - Sinais de acelerometria dos remadores da categoria *Single Skiff*. Para aquisição estes sinais foram utilizados o módulo principal do sistema e o cabo de acelerometria.

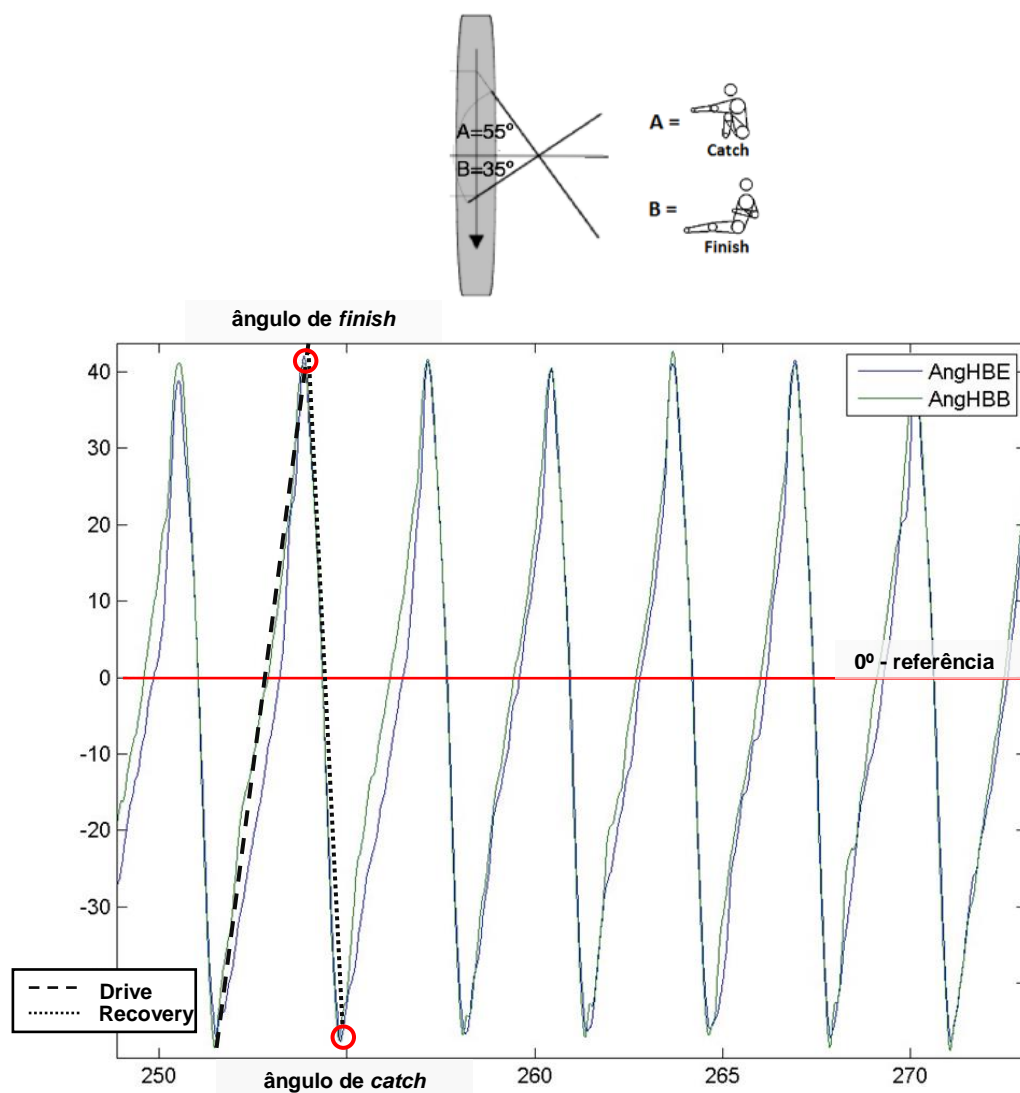


Figura 71 – Gráfico de deslocamento angular horizontal dos remos e valores ideais teóricos. A referência de 0° utilizada foi o momento em que o remo se encontra perpendicular ao barco.

5.4. Detecção de falhas técnicas

Também foi possível identificar deficiências técnicas como perda de estabilidade (Figura 72) ou picos duplos de frenagem, que podem indicar falta de sincronismo em uma equipe ou entrada incorreta da pá na água, para o caso de um *single skiff* (Figura 73).

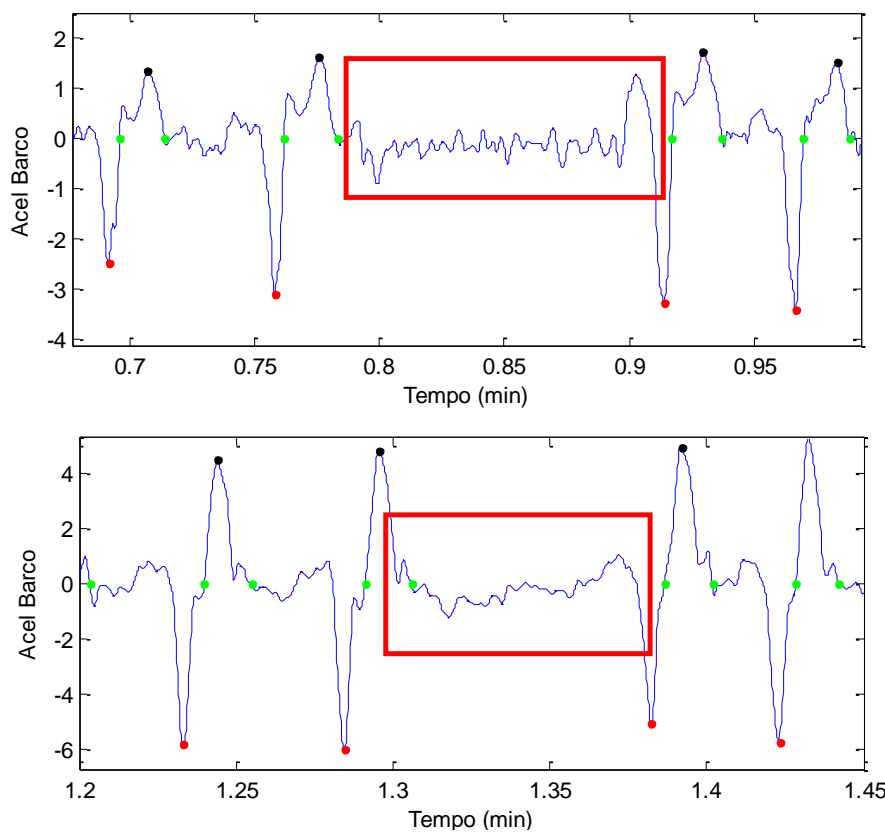


Figura 72 – Exemplos de perda de estabilidade encontrados em sinais de atletas da categoria júnior (acima) e atleta da categoria master (abaixo).

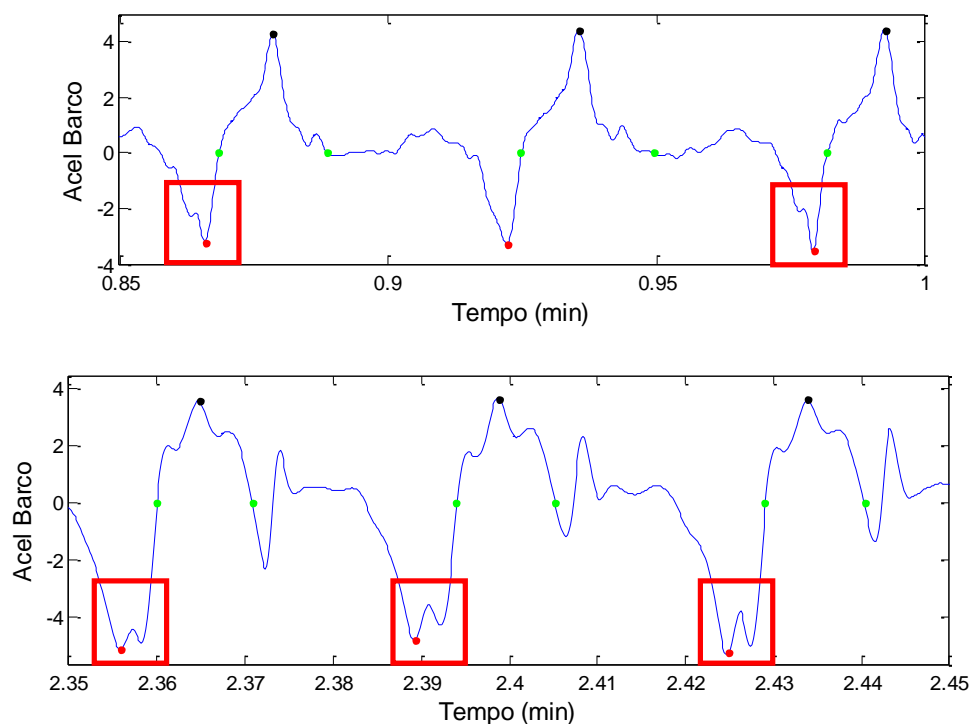


Figura 73 – Exemplos de pico duplo de aceleração negativa. Acima: pico duplo em *single skiff*, representando entrada incorreta da pá na água. Abaixo: pico duplo em Dois Sem, representando falta de sincronismo entre atletas.

Capítulo 6

Discussão

6.1. Frequência de Amostragem e Leitura do GPS

Em relação à frequência de amostragem do conversor A/D, além de ser igual ou superior às frequências encontradas na literatura, como os 50 Hz utilizados no trabalho de Mattes e Schaffert (2010) e 100 Hz nos de Bettinelli *et al.* (2010) e Smith e Loschner (2002), esta frequência é uma ordem de grandeza maior que a frequência dos harmônicos que devem ser preservados para manter a integridade do sinal respeitando o Teorema de Nyquist que requer pelo menos o dobro da máxima da frequência.

As pequenas diferenças encontradas na frequência de amostragem dos sinais analógicos (1,7%) e GPS (0,8%) foram consideradas na avaliação de todos os sinais de forma a corrigir ou minimizar os desvios causados principalmente no cômputo dos tempos e nas integrações.

6.2. Testes de Bancada com o GPS

De posse das informações apresentadas, conclui-se que, para a aplicação proposta, a utilização do GPS é válida uma vez que se trata de uma situação semelhante à retratada no Trecho 1, ou seja, os locais que serão utilizados para coletas *on-water* são áreas abertas, suficientemente distantes de construções e com visada direta para o céu.

6.3. Filtragem dos sinais

Apesar de ter sido aplicado aos sinais metade da frequência de corte utilizada em Bettinelli *et al.*, (2010) e Llosa *et al.* (2009), que foi de 10 Hz, para a faixa de vogas monitorada, o sistema foi capaz de realizar o processamento dos sinais de aceleração atenuando o ruído de alta frequência e possibilitando a realização de análises intraindividuais e interindividuais da população de remadores. Pelo domínio do tempo observa-se que os sinais filtrados mantiveram a morfologia do sinal original reduzindo consideravelmente o ruído de alta frequência.

Não foi encontrada na literatura nenhuma justificativa explícita ou metodologia que justifique o emprego da frequência de corte de 10 Hz. Além disso, nem sempre esta se encontra discriminada na descrição do processamento aplicado aos sinais.

6.4. Análise dos Perfis Temporais de Aceleração

Através da análise dos resultados dos testes de acelerometria foi possível verificar a proximidade do perfil de aceleração de um atleta ou equipe de um perfil ideal, considerando cada uma das fases de uma remada.

Os picos negativos dos sinais reais representam a frenagem imposta ao sistema no momento que a pá do remo entra na água para uma nova remada, sendo nesse ponto marcado o início da fase de *drive*. Quanto mais apurada a técnica do atleta, menor é este pico e mais curto é o período de aceleração negativa.

A área da região onde se encontra o pico positivo de aceleração pode ser utilizada para avaliar a capacidade de o remador transformar a energia gerada pelos seus músculos em movimento. Sendo assim, esta área deve ser maximizada de modo a respeitar o critério de proporção de 1:2 defendido por Redgrave (1995).

Para alguns remadores, é possível notar que a transferência de energia para o sistema ocorre em duas etapas, pois há um pico secundário de aceleração antes do pico principal. Kleshnev (2007) discute que a transferência de energia em duas etapas é uma característica de equipes mais eficientes, desde que o intervalo entre os picos seja de 0,08 min a 0,12 min. Caso contrário, haverá um atraso muito grande entre a propulsão das pernas e o início da aplicação da força dos braços.

Por fim, durante a fase neutra, que representa a fase de *recovery*, quanto mais próximo do zero estiver a aceleração, mais estável é o retorno do remador para a posição inicial da remada (posição de *catch*) e menor a oscilação de velocidade do barco. Em alguns casos também pode ser identificado um pico de aceleração no início dessa fase. Este pico representa a transferência de energia cinética do remador para o barco e deve ser o menor possível para não causar flutuações na velocidade do barco, prejudicando seu equilíbrio durante a fase de maior instabilidade (fase em que as pás estão fora da água).

O sistema desenvolvido possibilitou a verificação de todos os fatores acima expostos, além de um estudo das características específicas de um atleta ou a comparação entre estilos de atletas diferentes.

Todas as características observadas através da análise qualitativa dos perfis de aceleração apresentadas no Capítulo 5 podem ser também verificadas através de uma análise quantitativa, como os *boxplots* apresentados. A grande vantagem da mensuração dos perfis de aceleração é que se trata de uma ferramenta que não necessita de conhecimentos matemáticos específicos, apenas de familiarização com o formato do sinal de aceleração.

Para apresentação de dados numéricos em relatórios de acompanhamento é aconselhável a utilização de Tabelas de Índices Médios, como as que serão discutidas a seguir. Tais tabelas estão mais próximas da forma com que os treinadores registram manualmente os dados durante um treinamento supervisionado e permitem uma visão global da prova sem grandes perdas de informação.

6.5. Tabelas de Índices e Relatórios de Acompanhamento

Os *boxplots* apresentados no Capítulo 5 resumem as informações apresentadas de forma gráfica com os perfis de aceleração; mas, além de não representarem uma ferramenta familiar para a equipe técnica, não descrevem a prova de forma completa, podendo induzir o avaliador a conclusões incorretas.

Na maioria dos sinais apresentados os atletas foram instruídos a manter voga contínua em um trecho de 2000 m; mas em treinos de rotina nem sempre são realizadas vogas contínuas e os tiros podem ter percursos variáveis. A redução do percurso resulta apenas em uma prova com dados mais limitados, sendo feita uma avaliação com menos informações que podem não traduzir características como fadiga e mudança de perfil de aceleração. Já a mudança da estratégia de treinamento pode apresentar resultados que se não forem corretamente interpretados podem ser confundidos com deficiências técnicas.

Um exemplo é apresentado na Figura 74, onde podem ser vistos *boxplots* para três estratégias de treinamento. A estratégia “contínua” busca uma voga constante por todo percurso, esta foi utilizada para aquisição da maioria dos sinais discutidos na seção de resultados, a “progressiva” é aquela onde o atleta realiza patamares crescentes de voga contínua em uma mesma prova e a “intervalada” é aquela onde são intercalados trechos de voga baixa (geralmente entre 18 e 20 remadas/minuto) com trechos de voga alta (geralmente acima de 26 remadas/minuto). Nota-se que tanto no treinamento intervalado quanto no progressivo, há grande dispersão em todos os *boxplots*, o que em um treinamento contínuo indicaria que o atleta apresenta uma técnica pouco desenvolvida, com grande variação de seu perfil de aceleração, além de baixo condicionamento físico, pois não consegue manter o ritmo durante a prova. Apesar de o treinamento progressivo apresentar baixa variação dos picos de aceleração, há muitos *outliers* que ratificariam a presença de uma deficiência técnica.

Sendo assim, conclui-se que para uma visão mais completa da prova, a avaliação gráfica dos perfis de aceleração deve ser associada a uma segunda ferramenta, que neste caso será uma tabela de índices médios como as apresentadas nos trabalhos de Mattes e Schaffert (2010) e Robinson *et al.* (2011).

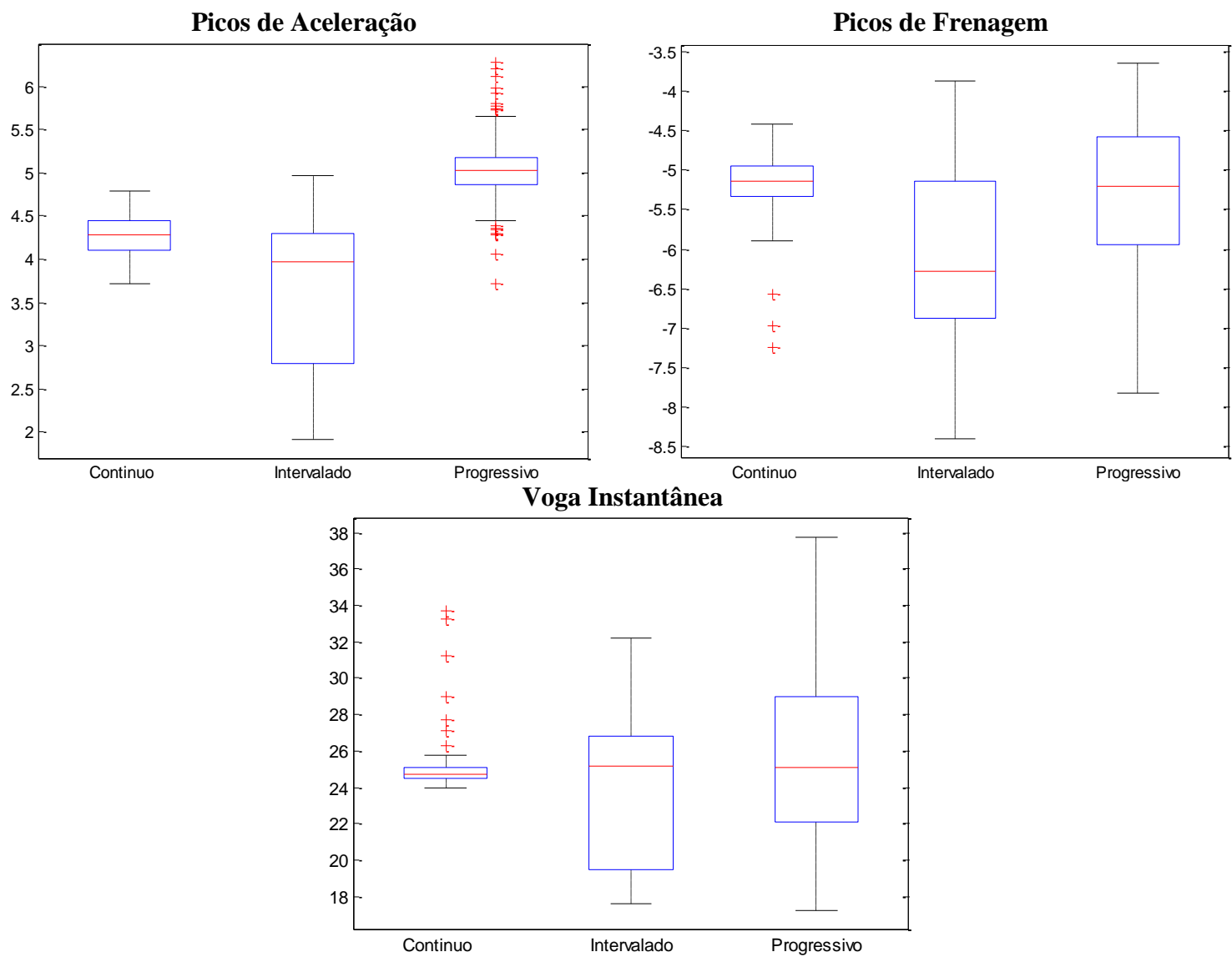


Figura 74 – Boxplots para três provas com voga média de 24 remadas por minuto. São apresentados três estilos diferentes: contínuo, intervalado e progressivo.

A Figura 75 mostra os perfis de aceleração para os treinos progressivo e intervalado representados nos *boxplots* da Figura 74.

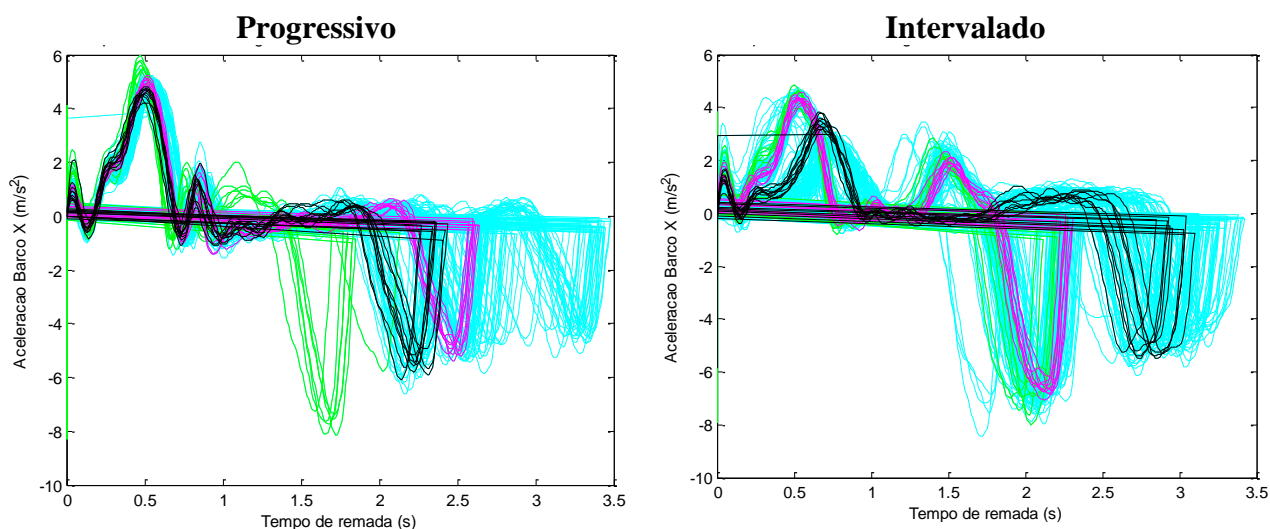


Figura 75 – Perfis de aceleração para os treinamentos progressivo e intervalado com voga média 24.

Através da tabela contida na Figura 76 é possível perceber perfil de voga progressivo adotado para o tiro, o que é ratificado pelo gráfico de voga também apresentado nesta figura. Este fato esclarece a grande dispersão temporal dos picos de frenagem encontrada no perfil de aceleração, eliminando a suspeita de que o atleta não foi capaz de manter a voga durante a prova. O que ocorre na verdade é um comportamento diretamente proporcional do módulo dos picos de frenagem em relação à variação de voga.

Os picos de aceleração sofrem uma leve queda nos últimos minutos, apresentando também variações de amplitude mais acentuadas. Analisando o gráfico de perfil dos picos (Figura 76), é possível notar que este intervalo engloba a execução da voga mais elevada do tiro (29,3 remadas/minuto).

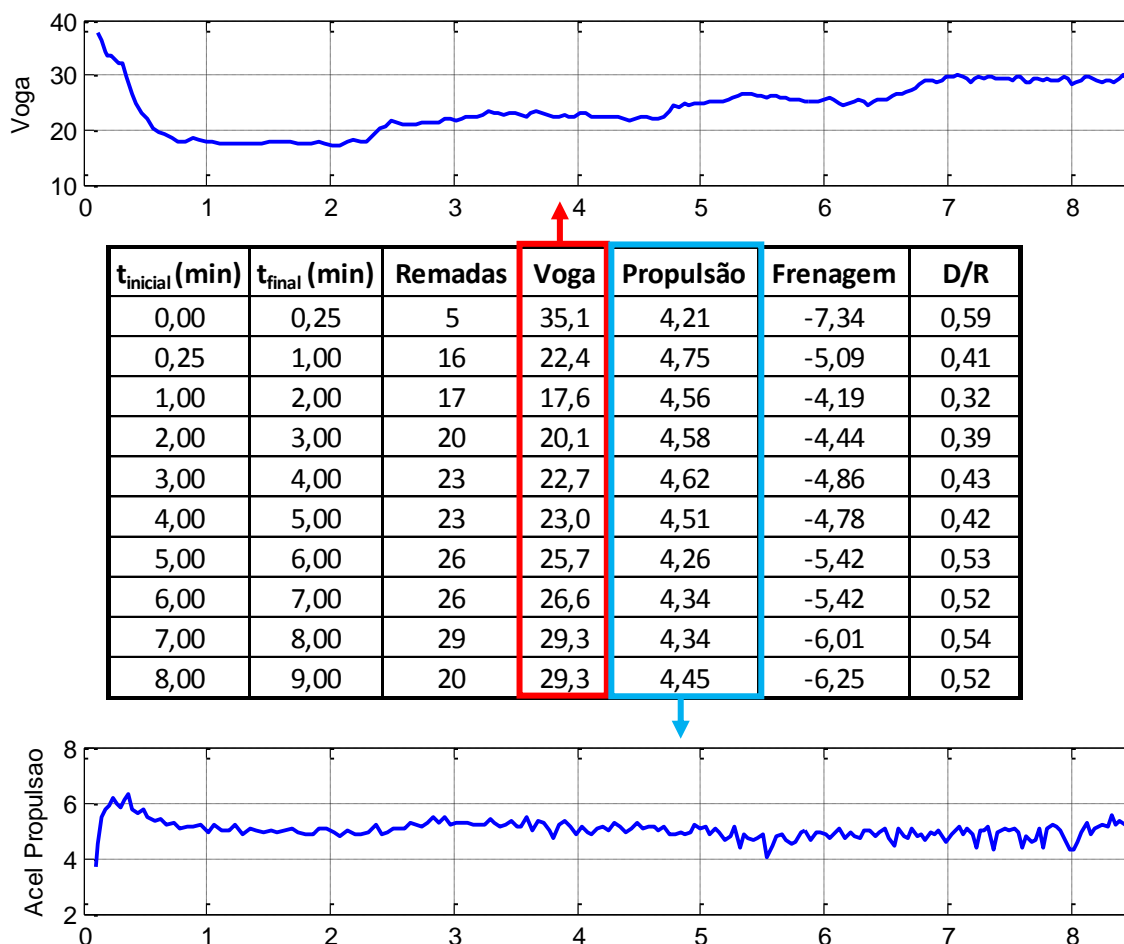


Figura 76 – Treinamento Progressivo 18 → 22 → 26 → 30 remadas/minuto com largada em voga 35.

Analisando agora o treinamento intervalado (Figura 77) nota-se que a divisão da prova minuto a minuto não forneceu uma visão muito clara do perfil. Em contrapartida, se forem utilizados intervalos de tempo menores a apresentação da tabela pode ficar muito poluída. Sendo assim, para que a equipe técnica não tenha que processar uma quantidade muito elevada de dados, nos relatórios de acompanhamento, também são apresentados gráficos de tendência com os perfis de voga e dos picos de aceleração e frenagem.

As tabelas de índices e o gráfico de perfil de aceleração devem ser ferramentas complementares, não sendo indicado o uso destas ferramentas de forma independente. Nos exemplos apresentados foi discutida a dependência do perfil de aceleração em relação às tabelas, mas o contrário também é válido. Esta dependência pode ser ilustrada através da mudança do perfil de aceleração no treinamento intervalado apresentada na Figura 75. Esta mudança do perfil de voga não pode ser detectada na tabela da Figura 77 com uma divisão temporal padrão. O mesmo ocorre para os perfis dos picos de aceleração e frenagem. A solução para este problema seria a possibilidade de

configuração dos intervalos de tempo da tabela ou a apresentação dos gráficos de perfil destes parâmetros junto com as tabelas.

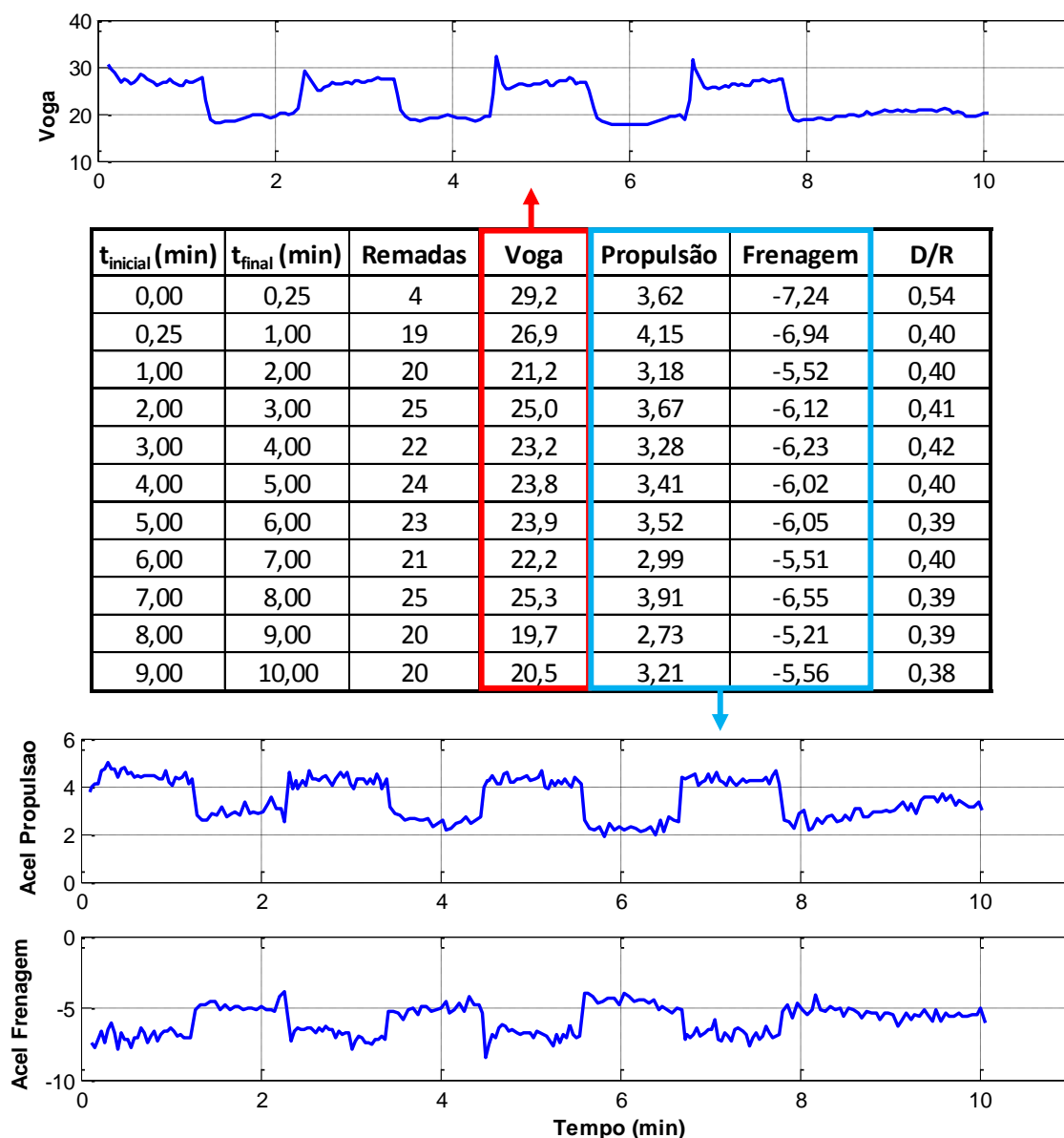


Figura 77 – Treinamento Intervalado 20 ⇔ 26 remadas/minuto.

6.6. Avaliação das Ferramentas de Acompanhamento

Durante a análise dos perfis de aceleração, gerados a partir da sobreposição das remadas, foi possível constatar diversas particularidades dos atletas avaliados, como a presença do pico secundário de aceleração após o pico positivo principal na maioria dos remadores do CRF, que pode indicar uma característica do estilo adotado para treinamento dos atletas do clube.

Também puderam ser apontados diversos eventos indesejados como perda de estabilidade ou a entrada incorreta da pá na água no início da fase de *drive*. Dessa

forma, mesmo que o treinador não acompanhe visualmente um atleta durante o treinamento, ele é capaz de identificar estas ocorrências para orientar o atleta posteriormente.

Além disso, nos casos em que o atleta foi demandado além do seu limite puderam ser observados dois comportamentos principais: “encurtamento” da remada e a irregularidade/dispersão das remadas.

A irregularidade/dispersão das remadas é constatada através da análise visual dos perfis de aceleração e da variação instantânea dos parâmetros voga, pico de aceleração e pico de frenagem. Estes fatores tem relação não só com o nível técnico, mas também com o condicionamento físico do atleta avaliado. Sendo assim, é aconselhável a utilização destas informações em conjunto para possibilitar uma análise detalhada de todo percurso, o que pode ser feito através da associação dos perfis de aceleração com as tabelas de índices médios.

Já o encurtamento pode ser identificado pela análise da proporção das fases da remada ou pela razão D/R. Sendo assim, pode-se concluir que estes indicadores estão intimamente ligados o nível técnico do atleta, sendo a proporção de fases mais indicada para acompanhamento uma vez que permite a identificação mais precisa de que fase da remada está sofrendo maior influência com o aumento de voga.

Além disso, não foi encontrado nenhum estudo com instrumentação *on-water* que ratificasse a generalização da aplicação da razão ideal de 1:2 entre as fases de *drive* e *recovery* para quantificação do nível de técnica de um atleta em qualquer categoria. Apenas o trabalho de Torres-Moreno *et al.* (2000), realizado com ergômetros, indica que esta razão pode variar entre 1:1,7 e 1:0,9 e que está negativamente correlacionada com a voga. Além de ser dependente da voga, este valor ideal pode variar também para atletas do sexo feminino e masculino, para guarnições com mais de um remador ou até mesmo entre remadores de faixas etárias diferentes.

O mesmo ocorre para utilização do deslocamento por remada (d_{REMADA}) como índice de desempenho. Deve-se atentar para o fato que muitos fatores influenciam diretamente a velocidade média do barco (v) e conseqüentemente o valor deste índice (características fisiológicas, condições climáticas, tipo de embarcação, etc.). Para minimizar as incertezas apresentadas por estes parâmetros o ideal seria a integração do sinal de velocidade do barco à tabela de índices médios ou aos gráficos de tendência (perfis de voga, aceleração e frenagem). De posse destas informações seria possível

realizar um estudo para determinar qual a “voga ótima” de um atleta, ou seja, qual é o par “voga, deslocamento por remada” mais eficiente, bem como qual a razão D/R referente a esta combinação.

Outro ponto importante diz respeito às remadas iniciais (destacadas em verde nos gráficos de perfil de aceleração). Em geral, estas se diferenciam das demais remadas apresentando um comportamento de voga progressiva, ou seja, aumentando sua duração temporal gradativamente. Além disso, também podem apresentar um perfil de fase positiva com maior variação e picos de frenagem com maior magnitude. Isto ocorre porque, durante as primeiras remadas, o atleta está vencendo a inércia do sistema, necessitando de uma propulsão muito maior do que as outras etapas da prova.

Se a equipe realizar uma largada mal sucedida é pouco provável que seja alcançado o primeiro lugar, pois a dificuldade de recuperar a distância para os demais competidores cresce com as velocidades envolvidas na prova, ou seja, para um Oito Com é muito mais difícil retornar a disputa pelo ouro do que para um *single skiff* (Mattes e Schaffert, 2010). Sendo assim, para próximos trabalhos, é aconselhável realizar a análise da largada separadamente.

A análise do percurso descrito pelo barco na água possibilitou a identificação de indicações de desbalanceamento tanto em guarnições como em *single skiffs*. Apesar de ser uma ferramenta qualitativa pode ser utilizada como auxílio na decisão pela execução de um teste mais aprofundado ou não.

Para acompanhamento do movimento do tronco e do carrinho seria mais indicado o desenvolvimento de sensores para aquisição direta do deslocamento e não da aceleração como foi feito. Em geral, é o sinal deslocamento que é utilizado para análise biomecânica e a obtenção desta informação a partir da aceleração insere muitos erros na medida, pois os sinais de aceleração devem ser integrados por métodos numéricos.

Os goniômetros potenciométricos possibilitaram o monitoramento da amplitude da remada, sendo a razão das inclinações de *drive* e *recovery* também relacionadas à razão de tempo de Redgrave. Estas informações associadas à informação de elevação dos remos produziriam um gráfico de fase semelhante ao de Bettinelli *et al.* (2010). Sendo, assim, o desenvolvimento de um sensor de elevação tornaria mais completa a avaliação da dinâmica dos remos.

Independente das considerações sobre os sensores desenvolvidos, a arquitetura modular do sistema provou ser a melhor solução para acompanhamento regular dos

atletas. Devido ao tamanho reduzido do módulo principal, baixo consumo de bateria e à facilidade de instalação este sistema pode ser utilizado diariamente durante os treinamentos sem representar um incômodo para o atleta e, quando é necessária uma avaliação mais aprofundada, é possível realizar a interligação de sensores externos para monitoramento de variáveis específicas.

Este estudo com sensores externos deve ser prescrito através da análise dos resultados dos testes regulares, sendo focado na avaliação de um problema já identificado. Isso elimina a necessidade de submeter atletas a testes com muitos aparatos desnecessários, reduzindo também a quantidade de variáveis a serem manipuladas.

Capítulo 7

Conclusão

A proposta do trabalho foi desenvolver um método de acompanhamento que possibilitasse uma análise objetiva do sistema barco-remador baseada nos sinais de aceleração e de deslocamento do barco.

Os resultados apresentados no Capítulo 5 mostraram que este objetivo foi alcançado, sendo possível se realizar uma análise qualitativa dos perfis de aceleração, além de indicadores de Proporção de Fases (positiva, neutra e negativa) e Deslocamento por Remada.

No Capítulo 6, os resultados obtidos com os Perfis de Aceleração foram avaliados através de indicadores numéricos e assim identificada a necessidade de uma ferramenta auxiliar para acompanhamento da prova, evitando que estratégias de voga, como os perfis intervalado e progressivo, ou até mesmo fadiga, fiquem ocultos nos resultados. Dessa forma, foram introduzidas as Tabelas de Índices Médios, que representam o comportamento do sistema barco-remador na prova através de médias das principais variáveis cinemáticas, além dos Gráficos de Tendência (perfis de aceleração, frenagem e voga instantânea).

Quando utilizadas em conjunto, as ferramentas apresentadas neste trabalho possibilitam uma melhor avaliação do conjunto barco-remador, permitindo a criação de um histórico de coletas. Tal procedimento auxilia tomadas de decisão sobre a realização de testes com sensores específicos para estudo e identificação de deficiências técnicas.

Com base nos resultados apresentados no trabalho, conclui-se que o sistema de *hardware* idealizado em conjunto com o sistema computacional de análise é capaz de fornecer informações importantes sobre a cinemática do sistema barco-remador durante treinos na água sem interferir nas variáveis mensuradas e apresenta sensibilidade suficiente para acompanhar o comportamento destas variáveis provocando pela mudança das condições dos testes. O próximo passo seria a realização de experimentos com grupos controlados e com quantidade representativa de atletas de forma a melhor caracterizar o variação dos parâmetros discutidos em cada uma das diferentes categorias (parâmetros antropométricos, massa corporal, sexo, idade, modalidade, regulação do

barco, etc.) e sob diversas condições de teste (variação de intensidade do treinamento, diferentes condições climáticas, modificação da estratégia de treinamento, etc.).

Deve ainda ser mencionado que durante os experimentos realizados neste trabalho foi observado que a realização regular deste tipo de acompanhamento objetivo representa um fator extra de motivação para os atletas.

Devido aos bons resultados obtidos, sugere-se também a continuidade de pesquisas no tema, desenvolvendo-se mais sensores para o protótipo de hardware, de modo a disponibilizar mais parâmetros sobre a dinâmica do sistema barco-remador, tais como a força aplicada nos remos e no finca-pé.

Finalmente, espera-se que este trabalho possa contribuir para o aprimoramento do Remo no país, de modo a melhorar a posicionamento de nossos atletas a nível mundial.

Referências

- BACA, A., KORNFEIND, P., 2008. A Feedback System for Coordination Training in Double Rowing. In: **The Engineering of Sport 7**. Paris: Springer Paris. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/t20456668qp06143/>>. Acesso em: 11 Out. 2010.
- BACA, A., KORNFEIND, P., HELLER, M., 2006. Feedback Systems in Rowing. In: **The Engineering of Sport 6**. New York, NY: Springer New York. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/p4821045kn42837n/>>. Acesso em: 11 Out. 2010.
- BAUDOIN, A., HAWKINS, D., 2002. A biomechanical review of factors affecting rowing performance. **British Journal of Sports Medicine**, v. 36, n. 6, p. 396-402.
- BETTINELLI, S., PLACIDO, A., SUSMEL, L., TOVO, R., 2010. An Integrated Data Acquisition System for on-Water Measurement of Performance in Rowing. **Strain**, v. 46, n. 5, p. 493-509.
- BIOROW. Rowing Biomechanics Newsletters,]. Disponível em: <<http://www.biorow.com/PS.htm>>. Acesso em: 28 Mai. 2012.
- BOYAS, S., NORDEZ, A., CORNU, C., GUÉVEL, A., 2006. Power responses of a rowing ergometer: mechanical sensors vs. Concept2 measurement system. **International Journal of Sports Medicine**, v. 27, n. 10, p. 830-833.
- CONCEPT2 UK, 2010. Indoor Rower - Concept2. Disponível em: <<http://concept2.co.uk/rower/evolution>>. Acesso em: 5 Out. 2010.
- CONFEDERAÇÃO BRASILEIRA DE REMO, 2010. Disponível em: <<http://www.cbr-remo.com.br/>>. Acesso em: 29 Set. 2010.
- ELLIOTT, B., LYTTLE, A., BIRKETT, O., 2002. The RowPerfect ergometer: a training aid for on-water single scull rowing. **Sports Biomechanics / International Society of Biomechanics in Sports**, v. 1, n. 2, p. 123-134.
- FIRST AND THIRD TRINITY B. C., 2010. A Guide to Rowing. Disponível em: <<http://www.firstandthird.org/tables/rowing/sport.shtml>>. Acesso em: 29 Set. 2010.
- FREITAS, A., VIEIRA, S., 2007. **O que é canoagem, remo e esqui aquático**. Casa da Palavra.
- HAWKINS, D., 2000. A new instrumentation system for training rowers. **Journal of Biomechanics**, v. 33, n. 2, p. 241-245.
- JAMES, D., DAVEY, N., RICE, T., 2004. An accelerometer based sensor platform for

- insitu elite athlete performance analysis. In: Sensors, 2004. Proceedings of IEEE. p.1373-1376 vol.3. Disponível em: <10.1109/ICSENS.2004.1426439>. Acesso em: 6 Out. 2010.
- KLESHNEV, V., 1996. The effects of stroke rate on biomechanical parameters and efficiency of rowing. In, Abrantes, J.M.C.S. (ed.), XIV Symposium on biomechanics in sports. June 25-29, 1996, Funchal, Madeira, Portugal. Proceedings, Lisboa, Edicoes FMH, c1996, p. 321-324.
- KLESHNEV V., 2001. Stroke Rate vs. Distance in Rowing during the Sydney Olympics. Australian Rowing. v.25, n.2, p.18-21.
- KLESHNEV, V., 2003. Stroke length reduction at higher rates is more significant in bigger boats. Rowing Biomechanics Newsletter. v.3, n. 3, p. 41.
- KLESHNEV, V., 2004. Rowing Biomechanics: Technology and Technique. Disponível em: <<http://www.biorow.com/Papers.htm>>. Acesso em: 5 Out. 2010.
- KLESHNEV, V., 2005. Comparison of on-water rowing with its simulation on Concept2 and Rowperfect machines. In: XXII International Symposium on Biomechanics in Sports, Beijing. p.130–133.
- KLESHNEV, V., 2006. Rowing Biomechanics. Disponível em: <<http://www.biorow.com/Papers.htm>>. Acesso em: 30 Set. 2010.
- KLESHNEV, V., 2006. Method of analysis of speed, stroke rate and stroke distance in aquatic locomotions. Scientific proceedings. XXII International Symposium on Biomechanics in Sports, Salzburg. p.104-107.
- KLESHNEV, V., 2007. Temporal analysis of stroke cycle in rowing. Scientific proceedings. XXIII International Symposium on Biomechanics in Sports, Ouro Preto, Brazil. p. 111-115.
- LI, C. F., HO, W. H., LIN, H. M., 2007. Strength curve characteristics of rowing performance from the water and the land. **Journal of Biomechanics**, v. 40, n. 2, p. 770.
- LICHT, H., 1986. **O remo através dos tempos**. Subsecretaria de Desporto.
- LLOSA, J., VILAJOSANA, I., VILAJOSANA, X., ET AL., 2009. REMOTE, a Wireless Sensor Network Based System to Monitor Rowing Performance. **Sensors**, v. 9, n. 9, p. 7069-7082.
- LORMES, W., BUCKWITZ, R., REHBEIN, H., STEINACKER, J. M., 1993. Performance and blood lactate on Gjessing and Concept II rowing ergometers. **International journal of sports medicine**, v. 14, p. 29–29.
- MATTES, K., SCHAFFERT, N., 2010. New Measuring and on Water Coaching Device for Rowing. .

- PEACH INNOVATIONS, 2010. PowerLine Rowing Instrumentation, the ultimate coaching tool for force curves, timing analysis, workout monitoring and much much more... Disponível em: <<http://www.peachinnovations.com/index.htm>>. Acesso em: 21 Out. 2010.
- PILGERAM, K. C., DELWICHE, M. J., 2006. Device for on-the-water measurement of rowing output. **Sports Engineering**, v. 9, n. 3, p. 165-174.
- REDGRAVE, S., 1995. **Complete book of rowing**. Partridge Press.
- REKERS, C. J. N., ESCH, B., 1993. Verification of the RowPerfect ergometer. In: Paper presented at the ARA Senior Rowing Conference in London.
- ROBINSON, M. G., HOLT, L. E., AND PELHAM, T. W., 2002. The technology of sprint racing canoe and kayak hull and paddle designs. **International Sports Journal**, v. 6, n. 2, p. 68-85.
- ROBINSON, G. M., HOLT, L. E., PELHAM, T. W., FURNEAUX, K., 2011. Accelerometry Measurements of Sprint Kayaks: The Coaches' New Tool. **International Journal of Coaching Science**, v. 5, n. 1, p. 45-56.
- ROTTENBACHER, C, MIMMI, G., RAMPONI, A. 2011. Estimation of Biomechanical Parameters and Propulsive Efficiency of Flat-water Kayak Single (K1) at Race Pace. Disponível em: < <http://www.lamc.ing.unibo.it/>>. Acesso em: 15 Jan. 2013.
- ROWPERFECT, 2013. About us - Who we are (and what we're about). Disponível em: < <http://www.rowperfect.com.au/about-us>>. Acesso em: 28 Jan. 2013.
- SCHAFFERT, N, MATTES, K., EFFENBERG, A.O. 2011. An investigation of online acoustic information for elite rowers in on-water training conditions. **Journal of Human Sport & Exercise**, v. 6, n. 2, p. 392-405.
- SKYTRAQ TECHNOLOGY INC., 2008. Application Note AN0003 - Binary Messages of SkyTraq Venus 6 GPS Receiver". v. 1.4.19. Disponível em: < http://dexterindustries.com/files/AN0003_v1.4.8.pdf> Acesso em: 09 Jun. 2013.
- SMITH, R. M., LOSCHNER, C., 2002. Biomechanics feedback for rowing. **Journal of Sports Sciences**, v. 20, n. 10, p. 783-791.
- SOPER, C., HUME, P. A., 2004. Towards an ideal rowing technique for performance : the contributions from biomechanics. **Sports Medicine (Auckland, N.Z.)**, v. 34, n. 12, p. 825-848.
- THE OFFICIAL WORLD ROWING WEB SITE, 2010. FISA. Disponível em: <<http://www.worldrowing.com/index.php?pageid=1>>. Acesso em: 27 Set. 2010.
- TORRES-MORENO, R., TANAKA, C., PENNEY, K. L., 2000. Joint Excursion, Handle Velocity, and Applied Force: a Biomechanical Analysis of Ergonomic Rowing. **International Journal of Sports Medicine**, v. 21, n. 1, p. 41-44.

VICENTY, T., 1975. Direct and inverse solutions of geodesics on the ellipsoid with application of nested equations. Disponível em: <http://www.ngs.noaa.gov/PUBS_LIB/inverse.pdf>. Acesso em: 09 Jun. 2013.

VOLIANITIS, S., SECHER, N. H., 2009. Rowing, the ultimate challenge to the human body—implications for physiological variables. **Clinical physiology and functional imaging**, v. 29, n. 4, p. 241–244.

WEBA SPORT, 2010. RowX. Disponível em: <<http://www.weba-sport.com/products/rowx-outdoor>>. Acesso em: 21 Out. 2010.

Anexo A

Descrição das modificações realizadas do firmware do *datalogger*

I. Ferramentas

O código⁸ do *firmware* foi disponibilizado pelo fabricante em linguagem C e para sua visualização e edição foi utilizado o *software* Notepad++ v6.2.2.

O arquivo executável contendo o novo *firmware* é gerado através da execução do arquivo Makefile utilizando o compilador WinARM Versão 20060606. Para que o compilador funcione adequadamente a variável de ambiente *Path* do Windows (ou *PATH* em alguns casos) deve ser editada para que aponte também para a pasta que contém o código do compilador e as bibliotecas.

Por fim, para carregar a nova versão do *firmware* no *datalogger* basta copiar o novo executável gerado após a compilação para o cartão SD.

Ao ativar o *datalogger* será iniciada a execução de uma ferramenta chamada *Bootloader*. Esta ferramenta realiza três tarefas na ordem descrita a seguir:

- Caso o *datalogger* esteja conectado ao computador através da interface USB, é criada uma unidade de disco para acesso aos arquivos do cartão de memória;
- Caso a interface USB esteja inativa, o sistema busca uma nova versão do *firmware*. Sempre que for encontrado um arquivo FW.SFE na memória, o sistema atualiza o *firmware* antes de iniciar a execução do mesmo;
- Vencidas as duas primeiras etapas o *Bootloader* inicia a execução do *firmware*.

O *Bootloader* elimina a necessidade de utilização da interface serial para atualização do *firmware* e torna esta operação mais simples, eliminando a necessidade de *hardware* e *software* especiais para comunicação com o *datalogger*.

⁸ Disponível em: <http://github.com/SFE-Chris/Logomatic-V2>

II. Funções Modificadas

Para criação do Modo 3 foi necessária a modificação de três funções originais do *datalogger* (funções: *main*, *Log_init*, *mode_action*) e a criação de três novas funções (funções: *mode_3*, *MODE3ISR_TMR*, *MODE3ISR_UART*), que serão descritas a seguir.

void main(void) – Função principal do *firmware*. Foi inserido um trecho de código para cópia do cabeçalho (CABECALHO.bin) no arquivo de dados dos sensores. Além disso, também foi inserido um passo para criação do arquivo do GPS (caso ele esteja ativo no arquivo LOGCON.txt).

void mode_action(void) – Salva todos os dados dos *buffers* globais nos arquivos do cartão SD (LOGXX.bin e LOGXX_GPS.txt) ao final de cada interrupção. Caso o botão de STOP seja pressionado, salva o conteúdo dos *buffers* parcialmente preenchidos nos arquivos e finaliza a aquisição.

Para esta função foram inseridos mais dois buffers de 512 kB em adição aos dois de mesmo tamanho originais do *firmware* para sinais analógicos. A quantidade de *buffers* foi ampliada, pois, como o sistema passou a realizar mais de uma função no mesmo ciclo de execução (ADC+GPS), ele precisa ter a capacidade de armazenar mais informações até o final da execução. Não foi utilizada a estratégia de ampliação do tamanho dos *buffers* originais para não prejudicar o tempo de execução da função *mode_action*.

Para os dados do GPS foram criados dois buffers com capacidade para 6 mensagens do tipo GGA, ou seja, com 80 caracteres. Para mais informações sobre o protocolo de comunicação e formato das mensagens do GPS ver seção 0.

A lógica de varredura se manteve a mesma, quando um buffer está cheio é ativado um *flag* para que a função *mode_action* saiba que estes dados já podem ser salvos no arquivo. Os *buffers* são sempre lidos na mesma ordem, garantido a integridade dos dados. Após transferência dos dados para o arquivo, o *flag* é desativado indicando que o *buffer* está disponível para escrita novamente.

void Log_init(void) – Lê o arquivo LOGCON.txt e configura o *datalogger* para aquisição. Se o arquivo LOGCON.txt não existe, cria um novo arquivo com a configuração padrão e um arquivo README.txt, não existente na versão original.

Os arquivos LOGCON.txt, com a configuração padrão, e README.txt podem ser vistos na Figura 79.

LOGCON.txt	README.txt
MODE = 3 ASCII = N Baud = 8 Frequency = 100 Trigger Character = \$ Text Frame = 80 AD0.3 = Y AD0.2 = Y AD0.1 = Y AD0.4 = Y AD1.7 = Y AD1.6 = Y AD1.2 = Y AD1.3 = Y GPS On = N Safety On = Y	Physical Channel Activation on LOGCON File: Channel 1 = AD0.3 Channel 2 = AD0.2 Channel 3 = AD0.1 Channel 4 = AD0.4 Channel 5 = AD1.7 Channel 6 = AD1.6 Channel 7 = AD1.2 Channel 8 = AD1.3 File Save Order (all channels on): 8-1-2-3-7-4-5-6 If any channel is off, simply remove it from the list and maintain the order. Example: If Channel 7 is off the save order will be: 8-1-2-3-4-5-6

Figura 78 – Conteúdo dos arquivos LOGCON.txt (configuração padrão) e README.txt.

No arquivo LOGCON.txt foi inserida uma nova linha de configuração, GPS On, que permite a ativação ou não do GPS para determinada coleta. Além disso, a ordem dos canais foi modificada para que seguissem a ordem indicada fisicamente no circuito, ou seja, AD0.3 corresponde ao canal físico 1, AD0.2 corresponde ao canal físico 2 e assim por diante. Apesar dessa modificação, a ordem com que os canais são salvos do arquivo é: 8-1-2-3-7-4-5-6 (como indicado no arquivo README.txt para todos os canais ativados). Esta ordem foi mantida desta forma, pois a reordenação da leitura dos canais provoca uma perda de sincronismo, principalmente quando todos os canais estão ativados.

void mode_3(void) – Configura os registradores e as prioridades para cada interrupção. Função híbrida oriunda da junção dos modos de operação 1 (*Triggered UART*) e 2 (*ADC Mode*) originais do *datalogger*. Esta função está ilustrada no código a seguir, onde podem ser vistas algumas configurações relacionadas à comunicação serial com o GPS como a taxa de comunicação (115200 bps) e o formato de mensagem a ser trocado pela interface serial (8 bits, sem paridade, 1 stop bit).


```

void mode_3(void)
{
enableIRQ();

// ADC mode interruption
VICIntSelect &= ~0x00000010; // Timer0 is an IRQ interrupt
VICIntEnable |= 0x00000010; // Enable Timer0 interrupt
VICVectCntl1 = 0x24; // Use slot 2 for UART0 interrupt
VICVectAddr1 = (unsigned int)MODE3ISR_TMR; // Set the address of
ISR for slot 1

TOTCR = 0x00000002; // Reset counter and prescaler
TOMCR = 0x00000003; // On match reset the counter and generate
interrupt
TOMR0 = 58982400 / freq;
TOPR = 0x00000000;
TOTCR = 0x00000001; // enable timer

// UART mode interruption
U0LCR = 0x83; // 8 bits, no parity, 1 stop bit
U0DLM = 0x00; // baud = 115200
U0DLL = 0x20; // baud = 115200
U0FCR = 0x01; // UART0 FIFO Control Register - FIFO Enable
U0LCR = 0x03; // UART0 Line Control Register - 8 bit character
length
VICIntSelect &= ~0x00000040;
VICIntEnable |= 0x00000040;
VICVectCntl2 = 0x26;
VICVectAddr2 = (unsigned int)MODE3ISR_UART;
U0IER = 0x01; // enable UART0 RDA interrupts

stringSize = BUFFER;
UART_stringSize = BUFFER_GPS;

mode_action();
}

```

void MODE3ISR_TMR(void) – Lê todos os dados dos canais analógicos e armazena em *buffers* globais. Caso o GPS esteja ativo, os dados somente são salvos no *buffer* global após a primeira mensagem válida de GPS. Cada vez que a interrupção desta função é executada com sucesso o LED vermelho do *datalogger* pisca.

Após a leitura de cada canal a função MODE3ISR_TMR concatena os *bytes* ou realiza a conversão dos dados para texto, dependendo da configuração do arquivo LOGCON.txt. A leitura de um canal analógico está ilustrada no código a seguir.

```

if(adl_3 == 'Y'){
    AD1CR = 0x00020FF08; // AD1.3
    AD1CR |= 0x01000000; // start conversion
    while((temp & 0x80000000) == 0)
        temp = AD1DR;
    temp &= 0x0000FFC0;
    temp2 = temp / 0x00000040;
    AD1CR = 0x00000000;

    if(asc == 'Y'){
        itoa(temp2, 10, temp_buff);
        if(temp_buff[0] >= 48 && temp_buff[0] <= 57){
            q[ind] = temp_buff[0];
            ind++;
        }
        if(temp_buff[1] >= 48 && temp_buff[1] <= 57){
            q[ind] = temp_buff[1];
            ind++;
        }
        if(temp_buff[2] >= 48 && temp_buff[2] <= 57){
            q[ind] = temp_buff[2];
            ind++;
        }
        if(temp_buff[3] >= 48 && temp_buff[3] <= 57){
            q[ind] = temp_buff[3];
            ind++;
        }
        q[ind] = 0;
        ind++;
        temp = 0;
        temp2 = 0;
        temp_buff[0] = 0;
        temp_buff[1] = 0;
        temp_buff[2] = 0;
        temp_buff[3] = 0;
    }else if(asc == 'N'){
        a = ((short)temp2 & 0xFF00) / 0x00000100;
        q[ind] = (char)a;

        q[ind+1] = (char)temp2 & 0xFF;
        ind += 2;
        temp = 0;
    }
}

```

void MODE3ISR_UART(void) – Lê os caracteres recebidos através da interface serial e testa o caractere "GPS Quality Indicator" – 45º caractere da mensagem GGA – para verificar se a mensagem recebida é válida. Enquanto este caractere for igual a 0 (zero), a mensagem é inválida e o *datalogger* aguarda a próxima mensagem. Após a recepção da primeira mensagem válida o *flag* de mensagem válida é ativado para início do armazenamento dos dados nos *buffers* de GPS e nos *buffers* dos sinais dos sensores.

III. Lógica de Operação

Após a fixação do equipamento no barco e o posicionamento de todos os sensores, o sistema é energizado e a coleta de dados é iniciada. A operação do sistema segue a lógica mostrada na Figura 79 e é descrita a seguir.

Durante a inicialização o microcontrolador irá buscar dois arquivos na memória do *datalogger*, o que contém os dados de configuração (LOGCON.txt) e o que contém as informações de cabeçalho do arquivo de dados (CABECALHO.bin). O arquivo LOGCON.txt contém informações sobre o modo de operação do sistema, tais como a quantidade de canais analógicos sendo utilizados; se o GPS está ativo; o tamanho da mensagem do GPS; dentre outras. O arquivo CABECALHO.bin contém informações sobre a coleta realizada, tais como calibração dos sensores, frequência de amostragem dos sinais, frequência de atualização do GPS, etc.

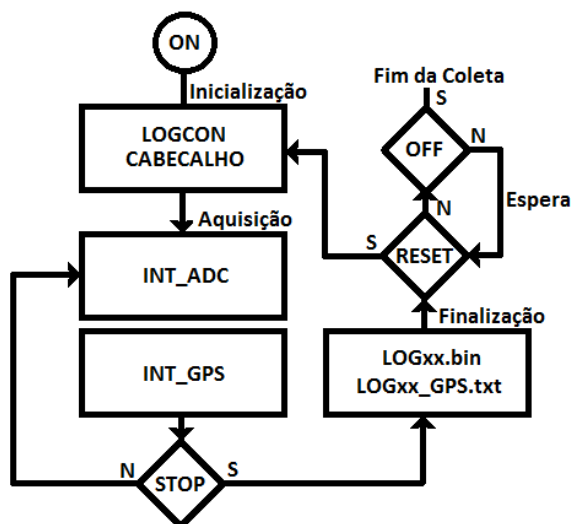


Figura 79 – Lógica de execução do novo modo de operação do *datalogger*. INT_ADC e INT_GPS são as interrupções para leitura dos sinais dos sensores e do GPS, respectivamente.

Caso o LOGCON.txt não seja encontrado o sistema irá gerar um arquivo com uma configuração padrão e seguirá com a lógica de operação. Já no caso do arquivo CABECALHO.bin, caso este não seja encontrado, o sistema irá gerar arquivos de dados sem cabeçalho que deverão ser manualmente inseridos posteriormente. Após a leitura das configurações presentes nos arquivos, o sistema entra em modo de aquisição.

Se o GPS estiver ativo o sistema só começa a escrever nos arquivos quando a primeira mensagem de GPS válida é recebida, ou seja, quando o sistema tem visada de, pelo menos, três satélites. Para indicar o início das mensagens válidas, o LED do GPS, posicionado na lateral do equipamento, começa a piscar. Caso o GPS esteja inativo, a

coleta de dados começa logo após a etapa de inicialização, independente da sincronização do GPS com os satélites.

Em modo de aquisição, a leitura das informações dos sensores tem prioridade sobre as mensagens do GPS. Sendo assim, caso o GPS perca a comunicação com o satélite ou com o *datalogger*, os sinais analógicos dos sensores continuarão sendo salvos. Isso significa que se a interrupção do GPS ainda não tiver acabado de receber uma mensagem ou tiver recebido uma mensagem inválida, ela será temporariamente suspensa para que a interrupção de leitura dos sensores seja executada. Esta estratégia foi adotada, pois a perda de um ponto implica na leitura incorreta das informações de todos os sensores no arquivo binário. Além disso, quando a comunicação do GPS com o satélite é interrompida, o *flag* de mensagem inválida é ativado, e se uma mensagem for perdida isto poderá ser identificado pelo maior intervalo de tempo entre mensagens.

A coleta só é encerrada quando o botão de *stop* é pressionado, quando, então, o sistema salva todos os dados no cartão SD, finaliza os arquivos e entra em modo de espera. Caso uma nova coleta seja desejada, basta pressionar o botão de *reset* e todos os procedimentos descritos serão reiniciados com novos arquivos no cartão de memória. Se as coletas tiverem sido encerradas basta desenergizar o sistema após pressionar o botão *stop*.

Os arquivos salvos no cartão são transferidos posteriormente para um computador via interface USB 2.0. O arquivo de dados dos sensores apresenta o nome LOGXX.bin, onde XX é o número de seu sequencial que varia entre 1 e 250, e o arquivo de dados do GPS apresenta LOGXX_GPS.txt, onde XX será o mesmo número sequencial de seu arquivo de dados de sensores correspondente.

Anexo B

Exemplo de Relatório de Acompanhamento



Teste de Acelerometria Relatório de Acompanhamento



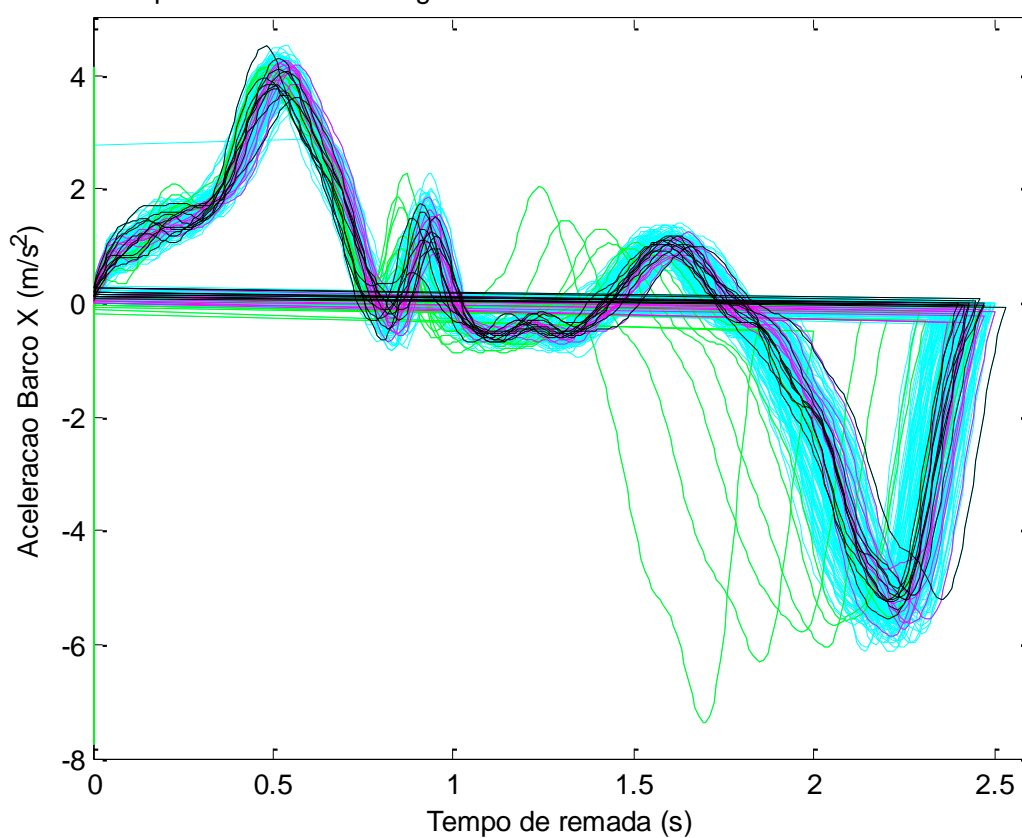
Nome do Atleta: MASC_SKIFF	Prova: 2000 m
Data do Teste: 18/02/2012	Modalidade: <i>Single Skiff</i>

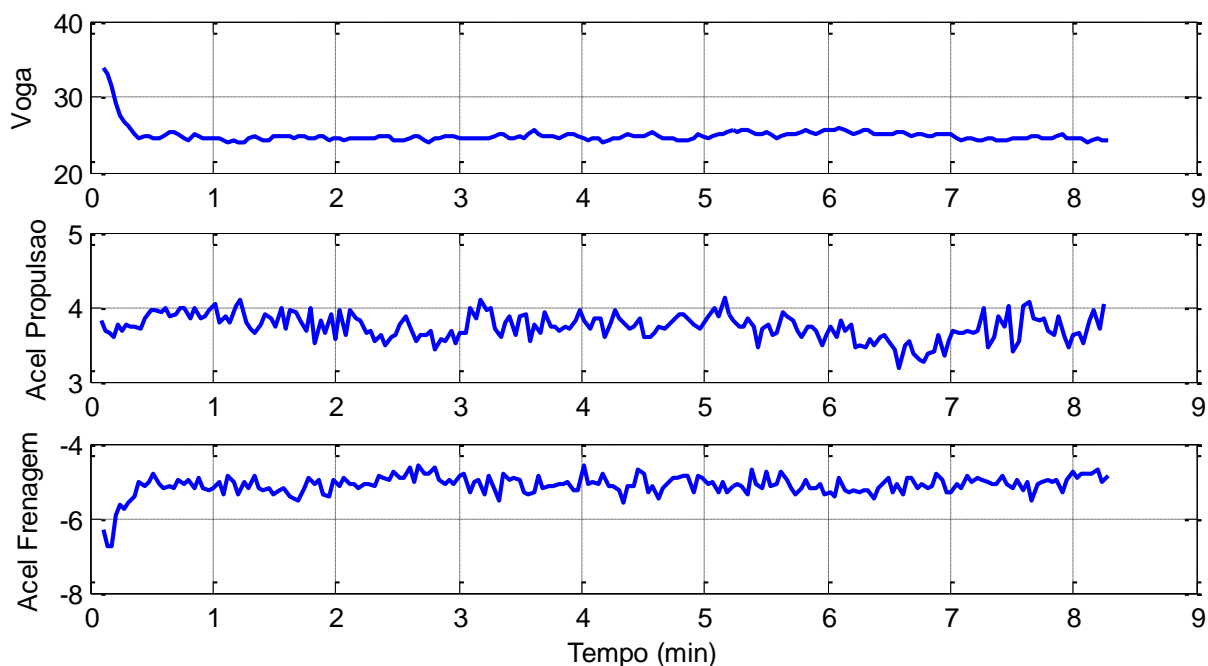
1. Condições Climáticas da Prova

Lagoa: Com marola lateral	Neblina: Não
Vento: Forte/Contra	Chuva: Não

2. Acompanhamento Visual

Verde: 10 primeiros ciclos - Magenta: 10 ciclos intermediários - Preto: 10 ciclos finais





3. Quantitativo

Tempo de Prova: 8,196 min	Quantidade de Remadas: 204
Fase Ativa Média: 0,51	Voga Média: 24,9

$t_{inicial}$ (min)	t_{final} (min)	Remadas	Voga	Propulsão	Frenagem	D/R
0,00	0,25	5,00	31,00	3,70	-6,28	0,69
0,25	1,00	18,00	25,00	3,87	-5,16	0,65
1,00	2,00	24,00	24,50	3,83	-5,19	0,71
2,00	3,00	24,00	24,50	3,67	-4,94	0,72
3,00	4,00	25,00	24,80	3,78	-5,11	0,72
4,00	5,00	25,00	24,60	3,78	-5,05	0,72
5,00	6,00	25,00	25,20	3,77	-5,11	0,73
6,00	7,00	25,00	25,20	3,51	-5,17	0,75
7,00	8,00	25,00	24,50	3,72	-5,06	0,71
8,00	9,00	7,00	24,30	3,76	-4,84	0,73

4. Diagnóstico

- Remadas com perfil temporal de aceleração regular e largada em voga elevada;
- Picos de aceleração com oscilação notável, provavelmente devido às condições climáticas desfavoráveis;
- Fase ativa média acima do ideal (aprox. 0,50), indicando encurtamento da fase de recuperação provavelmente também devido às condições climáticas que tem mais influência na estabilidade do barco com os remos fora da água;
