

A NATAÇÃO VISTA POR UM ENGENHEIRO (*)

Engenheiro ARY BIOLCHINI

Capitão-de-Fragata em serviço ativo na Marinha do Brasil, e engenheiro de construção naval e máquinas, diplomado pelo Massachusetts Institute of Technology (MIT) de Boston, EUA. Exerce funções técnicas no Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro (AMRJ), na Comissão de Marinha Mercante (CMM), no Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico (BNDE) e no Grupo Executivo da Indústria Naval (GEIN). É presidente da Sociedade Brasileira de Engenharia Naval (Sobena) e presidente da Comissão Organizadora do I Congresso Nacional de Transportes Marítimos e Construção Naval, que se realizou em outubro de 1963, no Clube de Engenharia do Rio de Janeiro, sob os auspícios da SOBENA.

ROTEIRO DA CONFERENCIA

1.0 — Introdução

- 1.1 — Propósito da conferência
- 1.2 — Temas a serem abordados

2.0 — A termodinâmica do corpo humano

- 2.1 — O corpo humano como u'a máquina térmica
- 2.2 — A máquina térmica submersa

3.0 — A hidrostática do corpo humano

- 3.1 — Flutuabilidade
- 3.2 — Estabilidade

4.0 — A hidrodinâmica do corpo humano

- 4.1 — Resistência oposta ao movimento
- 4.2 — Propulsão

5.0 — Conclusões.

1.0 — Introdução

O interesse que se observa atualmente, no Brasil, pelo estudo sério e profundo em todos os ramos de atividade, é o índice mais significativo do nosso vertiginoso desenvolvimento. Afinal, o que é o desenvolvimento? Apenas indústrias e fábricas? Navios, automóveis e aviões? Portos e estradas? Energia elétrica e combustíveis? Certamente que não. Desenvolvimento é um processo global, através do qual cada um evolui os seus conhecimentos, o padrão de vida, a sua capacidade de produzir e de criar, de aperfeiçoar-se em benefício próprio e da coletividade. Desenvolvimento é a consequência do adequado emprego que o homem faz da sua inteligência; o uso, em sua plenitude, das possibilidades intelectuais, físicas e morais de que foi dotado por Deus.

Como engenheiro que sou, tenho procurado contribuir, dentro das minhas possibilidades e limitações, para o progresso da técnica e da indústria naval do Brasil. Mas aprecio e procuro acompanhar o muito que se faz na medicina, no desporto, na educação e em tantos setores diversos, eis que a somação de tudo isso é que define, efetivamente, o nosso grau de adiantamento em relação aos outros países.

A colaboração que me foi solicitada pelo Professor Waldemar Bianchi, de proferir esta conferência, constitui para mim uma honra e uma satisfação. Não quero que estas palavras pareçam, apenas, uma gentileza de rotina. Senti-me honrado porque, como presidente da SOBENA — Sociedade Brasileira de Engenharia Naval —, fui escolhido para representar os técnicos brasileiros que têm contribuído para o espetacular progresso da construção naval no país. Satisfeito por sentir que o desporto brasileiro tem, em sua plenitude, a mentalidade certa de estudar, pesquisar e procurar em todos os aspectos que influenciam o seu exercício. Satisfeito, ainda, por ter a oportunidade de, mesmo através de parcela muito pequena,

contribuir para a evolução da natação brasileira, que tem alcançado notáveis resultados internacionais.

Finalmente, honrado e satisfeito pela responsabilidade que me foi atribuída de trazer a palavra da engenharia naval à tão digna e seleta assistência, verdadeiro Estado Maior da natação do Brasil.

1.1 — Propósito da Conferência

O Professor Waldemar Bianchi deu-me inteira liberdade para organizar esta conferência. Procurei, então, estabelecer um roteiro que se enquadrasse nas finalidades do Curso, apresentando de forma objetiva os principais aspectos físicos relacionados com a prática da natação. Não pretendo que esta aula represente um tratado sobre o assunto; ela se destina a mostrar como, sob o aspecto da engenharia, pode ser analisado o corpo humano no exercício da natação. É um estudo qualitativo analítico, que procura separar os vários fenômenos físicos, sem lhes medir a intensidade ou o valor, mas tentando indicar as causas e efeitos.

Não encontrei livro ou artigo que me pudesse servir como referência básica, contendo resultados de experiências e dados numéricos correspondentes. O excelente livro da Professora Maria Lenk — Natação — encerra, porém, uma série de informações que serviram para orientar o raciocínio, e relacionar o que conheço de engenharia Naval com os requisitos do desporto. Este trabalho representa, portanto, uma tentativa, uma primeira aproximação. É um estudo que, apesar de feito por um engenheiro, não contém fórmulas, tabelas ou gráficos. Se, entretanto, conseguir revelar aspectos que venham a ser, mesmo de forma indireta, úteis ao aprimoramento da técnica da natação brasileira, terá esta conferência cumprido integralmente a sua finalidade.

1.2 — Temas a Serem Abordados

A natação é uma atividade que se exerce com o corpo humano mergulhado na água. Dessa situação decorrem três aspectos importantes, que devem ser separados e que se possa compreender melhor o efeito de cada um no conjunto.

O corpo humano é u'a máquina térmica, destinada a funcionar envolvida no meio gasoso da atmosfera terrestre. É importante saber o que acontece com essa máquina quando colocada em um meio líquido.

A hidrostática também precisa ser chamada a opinar. O corpo humano, como qualquer objeto, sofre pressões e reações da água; o princípio de Arquimedes aplica-se ao caso, e a estabilidade estática deve ser examinada.

(*) Conferência realizada em 7 de maio de 1963, no Curso de Extensão Universitária — CINESIOLOGIA DA NATAÇÃO — a cargo do Livre-Docente Dr. Waldemar Bianchi, na Escola Nacional de Educação Física e Desportos, da Universidade do Brasil.

A natação é, porém, o processo usado pelo homem para, sem o emprêgo de acessórios, deslocar-se na água. Natação implica em movimento. É evidente que o deslocamento do corpo humano na água exige a aplicação de forças e provoca reações equivalentes. A hidrodinâmica aplica-se aqui, como aos navios, aos submarinos e aos peixes.

As conclusões, sem as quais qualquer trabalho perde a sua finalidade, apontam a necessidade da pesquisa sistemática do aspecto físico da natação.

2.0 — A Termodinâmica do Corpo Humano

O corpo humano tem órgãos, ossos, glândulas, músculos, nervos, líquidos, etc. O seu funcionamento é extremamente complexo; melhor do que eu, os médicos e desportistas conhecem as limitações e reações do organismo, as doenças e defeitos, e a maneira de corrigi-los.

As máquinas térmicas requerem, segundo Carnot, uma fonte quente e uma fonte fria. Recebem elas calor da fonte quente, produzem trabalho útil externo e rejeitam calor para a fonte fria (2º princípio da Termodinâmica). O rendimento (eficiência) das máquinas térmicas é diretamente proporcional à diferença de temperatura entre as duas fontes. Isto significa que, quanto maior for o desnível entre a temperatura da fonte quente e a da fonte fria, menor quantidade de combustível será necessária para produzir o mesmo trabalho útil externo. Ou então que, com a mesma quantidade de combustível, a máquina será capaz de produzir maior trabalho útil externo.

2.1 — O Corpo Humano como u'a Máquina Térmica

No corpo humano, é preciso verificar quais as fontes quente e fria. O oxigênio, absorvido pelo organismo através da respiração pulmonar, é conduzido pelo sangue a todos os pontos do organismo. Por outro lado, são retiradas dos alimentos, no processo da digestão, as substâncias que tomarão parte no metabolismo do corpo. Devidamente processadas e transformadas pelas glândulas e órgãos, essas substâncias são lançadas no sangue. Assim, o sangue encerra os dois elementos necessários à "combustão" que se vai processar: O oxigênio (comburente) e algumas das referidas substâncias (combustível).

É o sangue, em cada ponto do corpo, obrigado a passar pelos vasos capilares, transferindo assim os seus conteúdos nutritivos às células, dentro das quais realiza-se a "Combustão", isto é, a oxidação das mencionadas substâncias. É um processo relativamente lento, gradativo, que mantém as células a uma temperatura que lhes assegura a nutrição e a eliminação das toxinas (resíduos da "combustão"); podem elas recuperar a energia que consumiram na realização de trabalho externo, e ser capazes de realizar novo trabalho. É preciso, porém, que o excesso de calor desenvolvido pela "combustão" se dissipe, de modo que a temperatura das células se mantenha constante, apesar da contínua "combustão" que nelas se processa. A dissipação do calor é feita para a fonte fria, que é a atmosfera, através da pele e dos pulmões. O excesso de temperatura da atmosfera prejudica o seu funcionamento, contra o que o organismo se defende através da transpiração, expulsando suor quente (portanto, calor) pela pele, cuja evaporação tende a esfriar a pele e restabelecer o desnível térmico.

A célula é pois, o motor do nosso organismo. Funciona a uma temperatura baixa em relação aos motores a gasolina e outros; mas é u'a máquina térmica, onde há combustão, e que usa fonte quente (combustão nas células) e fonte fria (atmosfera).

O corpo humano tem certas particularidades que devem ser examinadas. Um esforço excessivo em magnitude ou duração faz com que a taxa de combustão nos músculos não consiga acompanhar o dispêndio de energia. As toxinas não são eliminadas com a mesma velocidade com que são produzidas, o mesmo acontecendo com o calor. Isso provoca a queda da capacidade de produzir trabalho externo, isto é, cai a potência da máquina. O resultado é que o músculo cansa, torna-se incapaz de con-

tinuar a produzir o esforço que lhe é solicitado. Uma pausa ou um sensível decréscimo de solicitação poderão restabelecer as suas condições iniciais de potência. O atleta se destaca em relação aos demais porque o treinamento a que ele se submete faz com que execute o mesmo trabalho com o mínimo de esforço, e ainda porquê as suas células adquirem maior potência e resistência através do exercício, conseqüentes de uma circulação mais ampla do sangue nas células e de uma respiração e alimentação mais eficientes.

Pela explicação que foi dada, é fácil deduzir que, em um dia quente, o rendimento do atleta é inferior ao normal, pois a atmosfera (fonte fria) não facilita a rejeição do calor do corpo. A transpiração tende a compensar essa desvantagem, dentro de certos limites, mas o calor excessivo pode prejudicar o desempenho e ocasionar demasiada perda de peso do atleta. Igualmente, uma pessoa que não está em sua forma perfeita tende a transpirar demasiado, mesmo em um dia frio, pois o seu organismo procura compensar, através de uma temperatura mais baixa da pele, a deficiência que sente para produzir o esforço requerido. Está, automaticamente, tentando corrigir o menor rendimento orgânico das células por meio de um aumento do rendimento térmico.

O corpo humano, entretanto, comporta-se de modo oposto às máquinas no caso de temperaturas externas muito baixas. As máquinas térmicas usuais têm um rendimento térmico que aumenta à medida que baixa a temperatura da fonte fria. No polo Sul, um motor a gasolina produz mais do que no Rio de Janeiro. As células, porém, exigem uma determinada temperatura para funcionar bem. Se a atmosfera estiver muito fria, as células mais próximas a ela (pele e músculos) ficam abaixo da temperatura ideal, porque a dissipação do calor é maior do que a produção de calor pela "combustão"; a contração dos vasos capilares impede que a "combustão" aumente para compensar esse maior resfriamento; nessas condições, as células funcionam mal, mais devagar do que normalmente, e a sua potência cai. O resultado externo aparece como decréscimo de resistência e cainbras.

Existe, portanto, uma faixa de temperaturas atmosféricas na qual o corpo humano, como máquina térmica, funciona melhor. Acima ou abaixo desses limites os resultados serão, certamente, deficientes.

2.2 — A Máquina Térmica Submersa

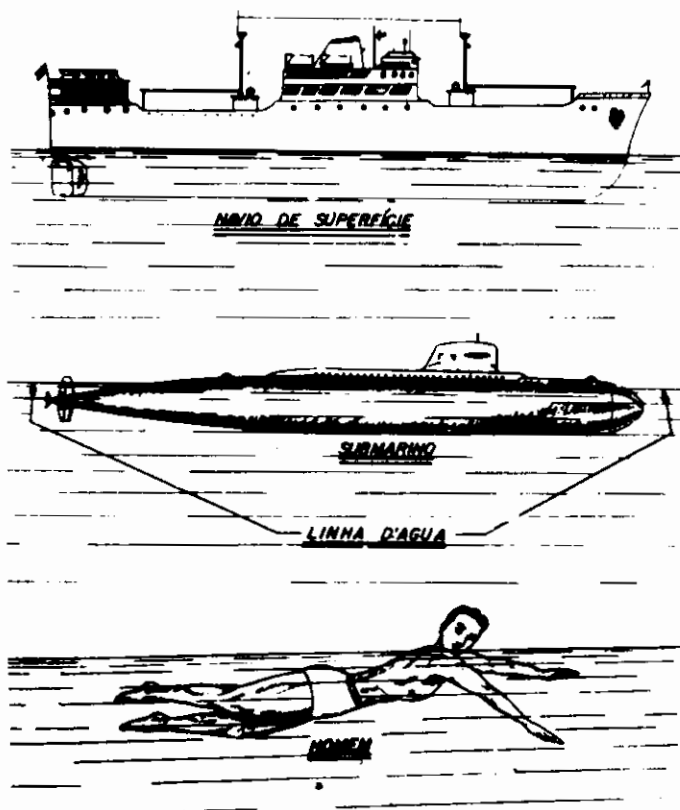
Mergulhado na água, apenas uma alteração sofre o corpo humano sob o ponto de vista termodinâmico: a fonte fria em contato com a pele passa a ser a água ao invés do ar. O calor expelido pelos pulmões continua a ser para a atmosfera, mas a absorção do calor da pele pela água é muito superior à anterior. O coeficiente de transferência do calor entre um sólido e um líquido é muito maior do que entre um sólido e um gás, isto é, o calor se transfere muito mais facilmente para a água do que para o ar. A necessidade de transpirar praticamente desaparece, e a perda de peso é reduzida.

Com água muito fria, as cainbras surgem rapidamente; com água muito quente, a transpiração é feita, mas não produz o mesmo efeito benéfico que no ar. Assim, fora da boa faixa de temperatura, a máquina térmica submersa funciona pior do que no ar.

A camada adiposa existente sob a pele atua como isolante térmico, dificultando a transferência de calor dos músculos para a pele e para a água ou ar. Dentro d'água, já vimos que o resfriamento da pele é mais intenso do que no ar; serve, então, a camada de gordura para controlar a taxa de transferência de calor: quanto mais espessa for a adiposidade, menor será a taxa. Uma camada adequada de gordura, além das vantagens que veremos posteriormente na hidrostática e na hidrodinâmica, contribui para manter os músculos corretamente aquecidos. É interessante notar que, na natação a gordura excessiva prejudica menos o atleta do que nos desportos terrestres, pois a água ajuda a retirar o calor dos músculos, compensando parcialmente essa desvantagem. Não se conclua dessa afirmativa que a natação é o desporto dos gordos, mas sim que é um desporto também dos gordos.

Todo corpo mergulhado em um fluido sofre uma perda de peso igual ao peso do volume de fluido deslocado. Este é o princípio de Arquimedes. A densidade do corpo humano é muito próxima da água doce, pois o nosso corpo tem, na sua composição, elevada taxa de água, e os demais componentes também apresentam densidade média mais ou menos igual à unidade. Decorre daí que o corpo humano tem uma ligeira tendência a ir para o fundo da água, mas o enchimento dos pulmões ou algum pequeno movimento pode mantê-lo à superfície, sem grande esforço. Inferese também que, flutuando, o corpo humano tem a sua quase totalidade abaixo da água; apenas uma parcela pequena do seu volume fica acima da superfície livre. Procurando comparar, o homem assemelha-se mais a um submarino do que a um navio de superfície; as suas condições de flutuabilidade e estabilidade são muito mais próximas das de um moderno submarino atômico do que de um navio cargueiro ou de uma lancha a motor (ver Fig. 1).

FIG. 1
FLUTUABILIDADE



Na hidrostática, consideramos o corpo e a água parados, e verificamos o comportamento de um em relação ao outro.

3.1 — Flutuabilidade

Deslocando praticamente um peso de água igual ao seu, o corpo humano depende da quantidade de ar nos pulmões para flutuar ou afundar. Sob os aspectos desportivo e recreativo isso é uma vantagem, pois o homem não tem dificuldade em nadar à superfície ou submerso, bastando-lhe escolher e agir de modo apropriado. O navio de superfície, ao contrário, é um cativo da superfície, e quando submerge é por que está morrendo. Na última guerra, vimos navios avariados que, ante a impossibilidade de serem levados a porto seguro, foram postos a pique pelos próprios companheiros, para não caírem em mãos do inimigo; mesmo sem poderem navegar, continuavam flutuando até que os torpedos lhes tirassem o último sôpro de vida.

Um navio na superfície flutua em uma linha d'água que corresponde ao deslocamento do seu peso em água. Toda a parte do casco do navio que fica acima da superfície da água constitui uma reserva de flutuabilidade; para ir a pique, ele precisa ser sobrecarregado ou avariado (nesse caso, a sobrecarga é a água que entra pelo lugar avariado) de modo a consumir toda essa reserva

de flutuabilidade. Um navio de superfície ou um barco comum têm uma grande reserva de flutuabilidade, pois são destinados a operar sempre na superfície. Um submarino, ao contrário, tem pequena reserva de flutuabilidade, o que permite que ele, além de navegar na superfície, possa consumir facilmente essa margem e submergir com rapidez (ver Fig. 1).

O homem, cuja reserva de flutuabilidade é praticamente nula, pode fazer uso dessa característica para, de um momento para o outro, optar pela navegação à superfície ou submersa. Essa vantagem tem suas limitações. Precisando respirar, o homem tem um tempo de submergência limitado pelo seu fôlego; suportando maior tempo sem respirar quando está com os pulmões cheios, ele precisa fazer algum esforço para vencer a reserva de flutuabilidade dessa condição, o que não aconteceria se mergulhasse com os pulmões vazios. Por outro lado, manter-se à superfície respirando exige um certo treinamento e, quase sempre, algum esforço, por menor que seja, do qual resulta fadiga. Um afogado não tem esse treinamento e não sabe como agir; ingere água, fica nervoso, ingere mais água; a sua reserva de flutuabilidade é consumida pelo peso da água ingerida; afunda mais, e cada vez engole maior quantidade de água; o medo faz com que não procure encher os pulmões de ar, respira ofegante e de modo insuficiente; às vezes, a água entra nos pulmões, provoca tosse e descontrole. Em suma, a pessoa que inicia o processo de afogamento, dificilmente consegue recuperar-se sem auxílio externo. Comparando com um navio, a pessoa sofre alagamento progressivo, e vai a pique por perda da reserva de flutuabilidade.

Os tecidos adiposos têm densidade inferior à média do corpo humano. Uma pessoa gorda tende a apresentar, por causa disso, menor densidade média do que a magra, e tem maior reserva de flutuabilidade. O gordo boia mais facilmente; as mulheres, cuja percentagem de adiposidade é, em média, superior à dos homens, também boiam com menos dificuldade do que estes.

As pressões hidrostáticas exercidas sobre o corpo humano são pequenas, a não ser nos mergulhos que atingem profundidades superiores a um metro. A respiração sofre influência no sentido de reduzir a capacidade vital utilizável, mas o nadador adestrado tende a compensar esse efeito com um ritmo respiratório adequado. Um dos pontos mais importantes no treinamento do nadador é a respiração, conforme diz a Professora Maria Lenk.

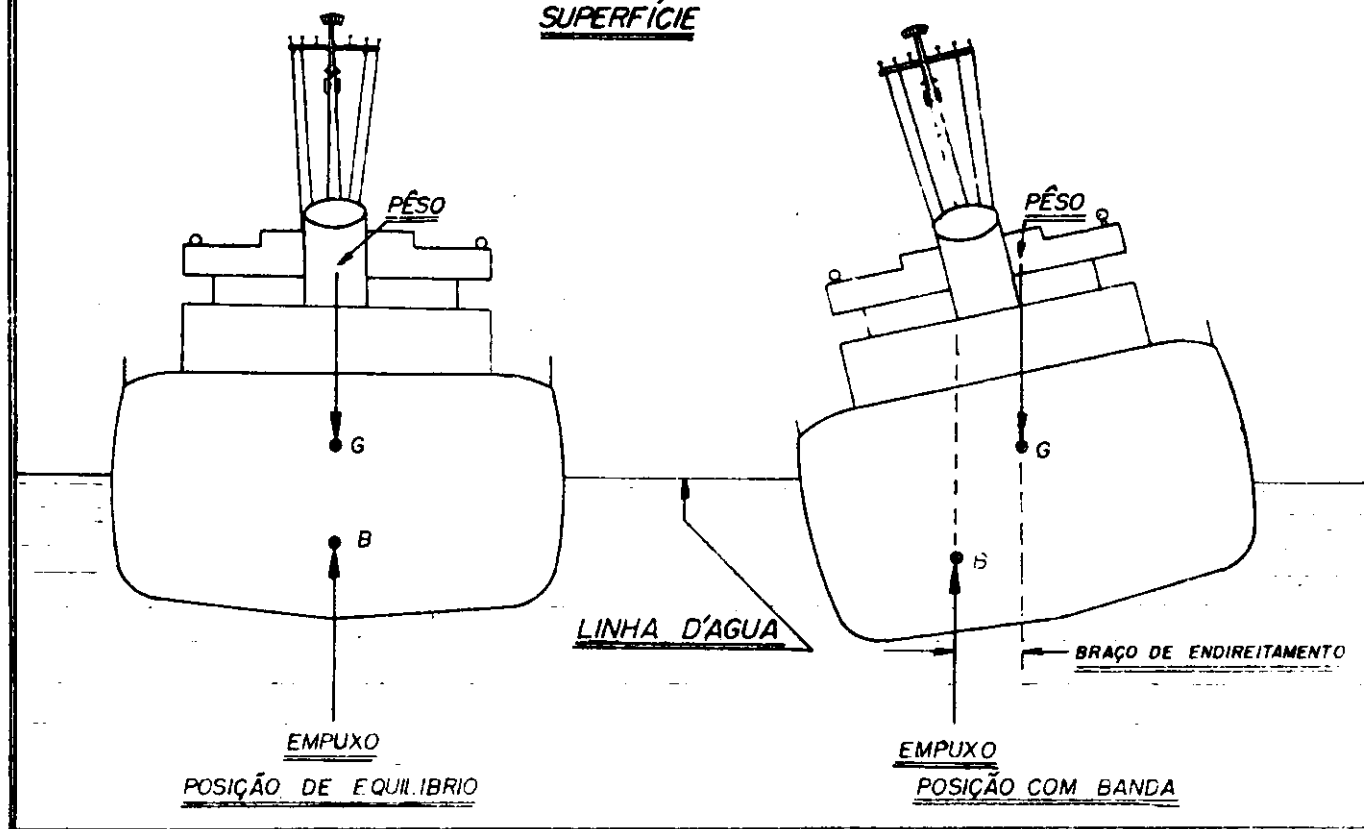
3.2 — Estabilidade

Estabilidade é a propriedade de reagir e contrariar as alterações da situação inicial. Nos navios, estabilidade é a tendência que tem o navio de manter a sua atitude ideal, tanto no sentido longitudinal quanto no transversal. O vento, as ondas, a distribuição de cargas, combustíveis, etc., como as avarias no casco, podem exercer sobre o navio forças que resultem em um conjugado ou momento que procura inclinar o navio lateral ou longitudinalmente. Se ele não tivesse estabilidade, tenderia a prosseguir no giro e emborcar, quer mergulhando um dos bordos (falta de estabilidade transversal), quer um dos extremos, a proa ou a popa (falta de estabilidade longitudinal). É necessário dotar o navio de estabilidade, para que ele possa oferecer segurança. A estabilidade do navio de superfície tem uma natureza completamente diferente da do submarino, razão pela qual acho importante descrever ambas, para melhor compreensão do comportamento do corpo humano da água.

O navio de superfície tem o seu centro de gravidade G (Fig. 2) determinado pela distribuição de pesos e cargas a bordo. O peso total do navio e da carga (deslocamento) pode ser considerado como concentrado no centro de gravidade G. O ponto G fica, geralmente, abaixo do convés principal. A flutuação do navio é assegurada pelo empuxo da água, descrito pelo princípio de Arquimedes. Este empuxo pode ser considerado como exercido em um ponto B chamado centro de empuxo, que é o centro de gravidade da água deslocada pelo casco. Já vimos que a magnitude do empuxo é igual ao peso (deslocamento) do navio. Quando o navio está em equilíbrio, o centro de empuxo B fica situado exatamente por baixo do centro de gravidade G (Fig. 2). Rompido o equilíbrio, o navio inclina-se para um dos bordos (aderna, adquire banda). O centro de gravidade G continua ocupando a mesma posição inicial em relação ao casco, mas o centro

FIG. 2

ESTABILIDADE DO NAVIO DE SUPERFÍCIE



de empuxo B desloca-se na direção do bordo mais mergulhado (Fig. 2). Isto acontece porque, sendo o centro de gravidade da água deslocada pelo casco, o centro de empuxo tem uma posição diferente para cada atitude do navio, e o formato normal do casco é idealizado de modo a produzir o deslocamento de B na direção e na magnitude convenientes a uma boa estabilidade. O ponto B deve ficar sempre localizado externamente em relação a G, assegurando a criação de um conjugado ou momento de forças. A distância entre as forças verticais do peso e do empuxo é chamada braço de endireitamento, e sua magnitude define a maior ou menor estabilidade do navio. Pela Fig. 2 pode-se ver que o ponto B deslocou-se para a esquerda e assegurou um braço de endireitamento positivo, isto é, tendente a endireitar o navio, a reconduzi-lo à posição inicial de equilíbrio. Se o braço de endireitamento for negativo, o navio emborcará; se for nulo, o navio ficará adernado. É comum ouvir-se falar de altura metacêntrica; a altura metacêntrica é um valor usado para definir a estabilidade de um navio para os pequenos ângulos de banda, que são os normalmente observados. Quanto maior for a altura metacêntrica, maior será a estabilidade do navio.

No submarino, o centro de empuxo B e o centro de gravidade G, continuam ocupando a mesma posição em relação ao casco, para qualquer atitude do navio. Para compreender isso, medite o leitor sobre a definição de centro de empuxo, dada acima. Nessas condições, para que o submarino tenha estabilidade positiva, impõe-se que o centro de gravidade G fique localizado abaixo do centro de empuxo B (Fig. 3); essa disposição produz um braço de endireitamento positivo, tendente a reconduzir o submarino à posição inicial. O equilíbrio do submarino assemelha-se, portanto ao de um pêndulo. Um dos maiores problemas no projeto de um submarino é o de assegurar-lhe boa estabilidade em ambas as condições (superfície e submerso). Para isso, é preciso desenhá-lo e prover manobras de esgotamento e alagamento de tanques de modo a fazer com que, na imersão, o centro de empuxo B suba e o centro de gravidade G desça; e na emergência, o inverso. A situação de transição é perigosa; o submarino deve atravessá-la rapidamente, pois a sua estabilidade então é nula.

O homem comporta-se, praticamente, como um submarino. Com os pulmões inflados, o centro de empuxo B fica situado acima do centro de gravidade G (Fig. 4); a sua estabilidade é pequena mas positiva, do tipo pendular. Com os pulmões vazios, o centro de empuxo B baixa e o centro de gravidade G sobe, reduzindo, anulando ou mesmo invertendo a disposição anterior. O homem fica, então, na situação semelhante à de transição do submarino, na qual perde a sua estabilidade. Assim, o homem, ao respirar, alterna de uma condição de pequena estabilidade positiva para uma de estabilidade nula ou negativa, considerando-se sua cabeça sempre para cima. Se ele não aplicar movimentos adequados, dificilmente poderá manter permanentemente a cabeça fora d'água. Não creio que seja muito indesejável essa falta de estabilidade do corpo humano. Graças a ela, podemos mergulhar e evoluir na água, girar o corpo, fazer loopings e toda a sorte de manobras impossíveis a um navio ou a um submarino. Tivéssemos grande estabilidade, seria impossível, ou pelo menos penoso, executar tais manobras; a natação, a caça submarina, o ballet aquático, seriam muito mais limitados e rotineiros, perdendo a sua extraordinária graça e atração. Apesar de alguns duvidarem, posso assegurar que os engenheiros também acham que a natureza sempre tem razão em suas criações e leis. Se um homem desejar ter maior estabilidade dentro d'água, procure segurar-se em uma bóia ou tronco de árvore, quando então o conjunto comportar-se-á como o navio de superfície da Fig. 2; Mas aqueles que quiserem aproveitar os prazeres da natação, façam pleno uso da pouca estabilidade (hidrostática!) que Deus lhes deu.

4.0 -- A Hidrodinâmica do Corpo Humano

Todo corpo sólido em presença de um fluido, e deslocando-se em relação a ele, sofre reações que são estudadas e medidas pela mecânica dos fluidos. O homem inventou o navio para conduzi-lo através dos oceanos; graças a essa concepção genial, a América e o Brasil foram descobertos, o mundo atingiu o progresso dos dias de hoje. A navegação marítima, longe de ser suplantada por outros meios de transporte, torna-se cada vez mais intensa e importante, absolutamente vital para a circulação das riquezas mundiais. Os navios modernos são

FIG. 3

ESTABILIDADE DO SUBMARINO

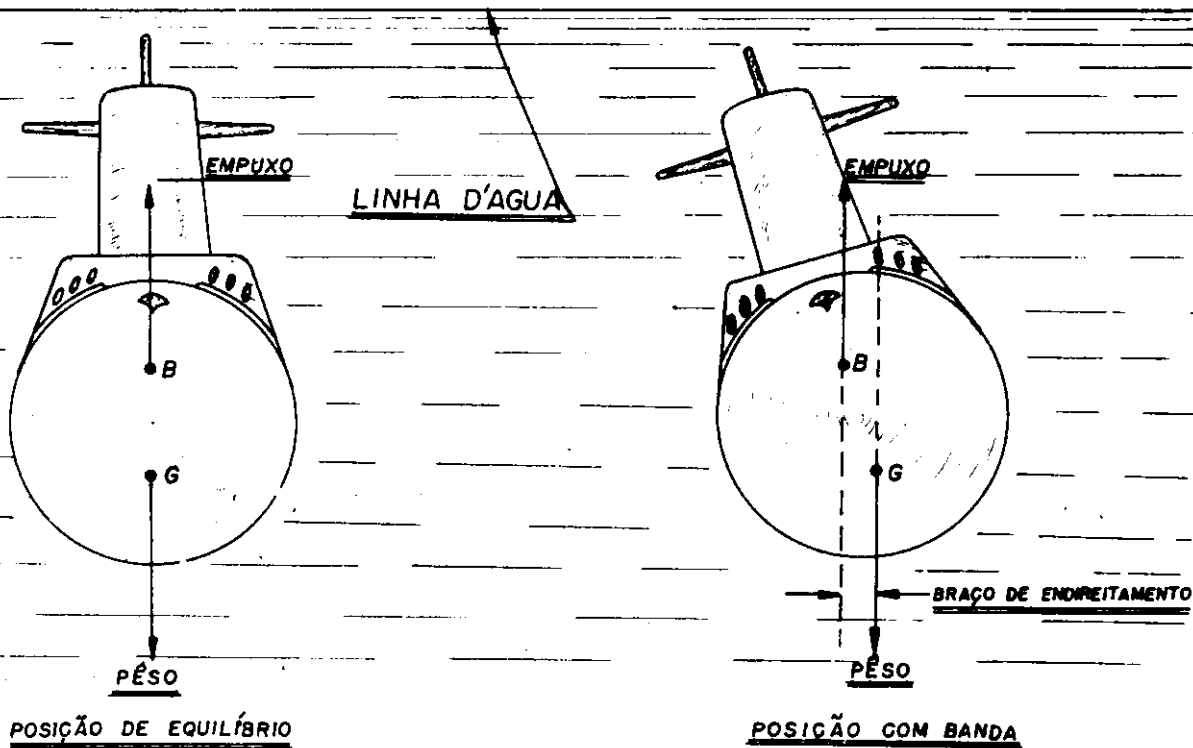
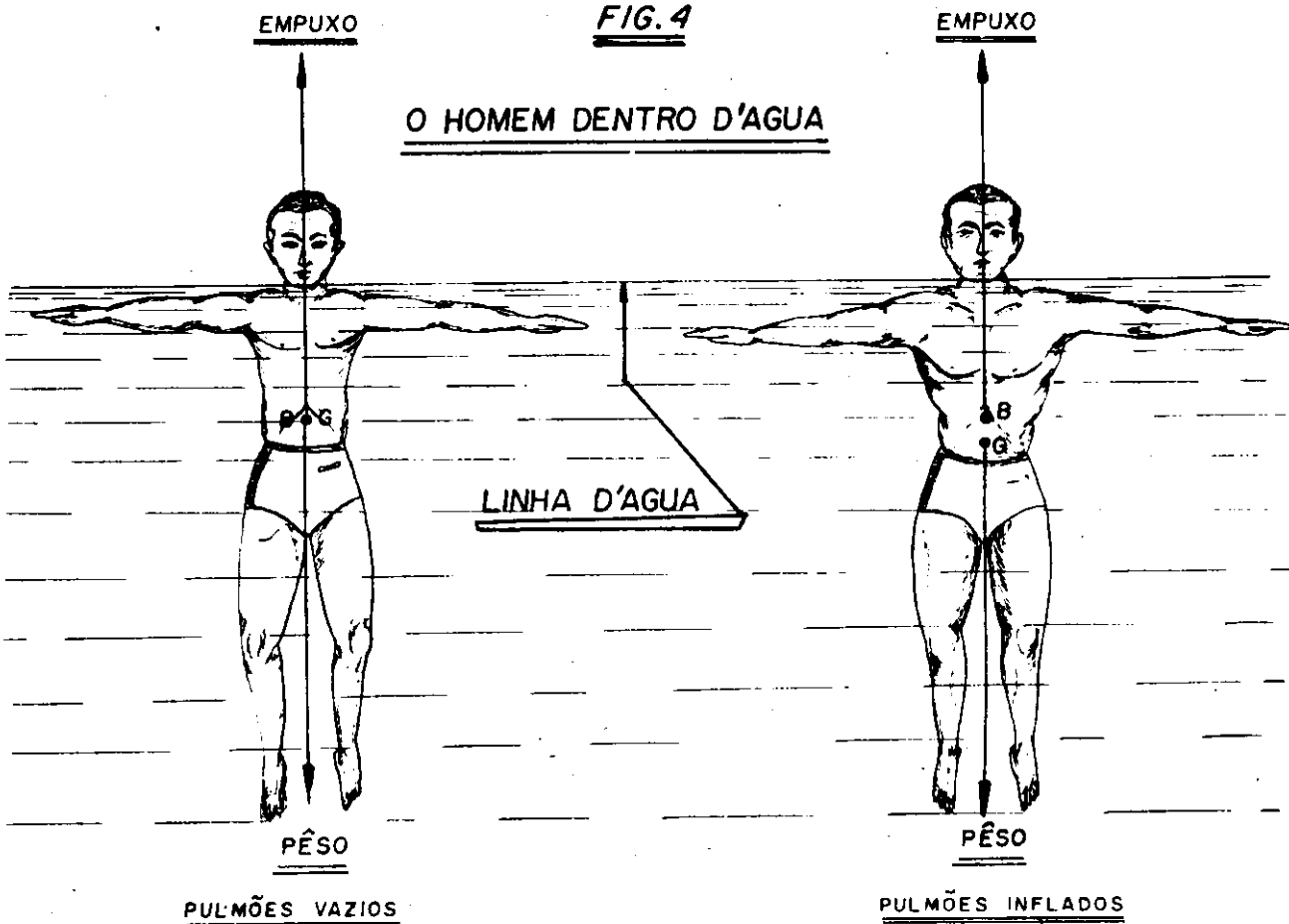


FIG. 4

O HOMEM DENTRO D'AGUA



muito diferentes das caravelas de Pedro Álvares Cabral; evoluem rapidamente em conforto e eficiência embora, freqüentemente, o seu aspecto externo não se modifique de maneira substancial.

As formas do casco de um navio são concebidas com o intuito de dar-lhe fluidez, estabilidade e pouca resistência ao movimento, cada uma dessas qualidades na dosagem adequada ao emprego do navio. A parte submersa do casco é a mais importante sob esse ponto de vista, justamente aquela que o observador não pode ver quando o navio passa. O navio, ao deslocar-se na água, encontra uma resistência que pode ser decomposta em duas partes principais, para efeito de estudo. A primeira é chamada de resistência de atrito, causada pelo atrito da água ao deslizar ao longo do casco do navio; ela é função da área do casco submerso (superfície molhada), do quadrado da velocidade do navio, e da aspereza da superfície molhada. A segunda parcela é chamada de resistência residual, influenciada principalmente pela marola (ou ondas) que o navio gera ao se movimentar, daí ser também chamada de resistência de onda (wave-making resistance). Esta parte só pode ser estudada e prevista através de experiências com modelos de escala reduzida, em tanques de provas, pois não se tem um tratamento matemático adequado para ela. Em São Paulo, no Instituto de Pesquisas Tecnológicas, existe um excelente tanque de provas em funcionamento; no Rio de Janeiro, há o projeto de construção de um tanque de provas na Escola Nacional de Engenharia, Cidade Universitária. A forma do casco do navio, a profundidade da água, a largura do canal onde se navega, a velocidade, todos esses fatores influem na resistência residual. As experiências e previsões são feitas considerando o mar calmo, sem vento, ondas ou correntes; essas interferências adicionais e eventuais que o navio encontra em suas viagens, alteram também o seu comportamento e os resultados que obtém. Um casco afilado, esguio, tende a cortar a água com mais facilidade, provocando menor criação de ondas, e assim, consumindo menos potência a ser dissipada para a formação dessas ondas. Quanto maior for a marola, mais potência se estará gastando para criá-la. A marola pode ser bonita, mas custa dinheiro sob a forma de combustível. O comprimento, a largura (boca), a profundidade (calado) e as formas do casco são escolhidos de modo a diminuir a resistência residual, desde que atendam também aos requisitos de carga, fluidez e estabilidade necessários ao navio. Nos submarinos, a resistência residual diminui muito de importância, por se achar o casco distante da superfície. Nesse caso, o atrito predomina, o que faz com que os submarinos requeiram, proporcionalmente, menor potência para desenvolver a mesma velocidade que um navio de superfície.

O navio que passa por águas pouco profundas ou canais estreitos, fica sujeito a uma queda de velocidade decorrente da reflexão das ondas no fundo e nas margens, as quais interferem com o escoamento da água e provocam maior resistência ao movimento. Em relação à velocidade propriamente dita, quanto maior ela for, mais acentuada será a resistência residual. A título de ilustração, podemos dizer que a potência (HP) necessária para movimentar um navio varia com o cubo da velocidade, nas velocidades mais baixas; ultrapassada esta faixa, com a quarta potência e até mais.

E a transmissão de potência da máquina à água, para se obter a força que vai impulsionar o navio? Modernamente, é feita por meio de hélices colocadas na pôpa do navio. O hélice recebe, através do eixo, a potência motora; a rotação produz uma sucção da água na parte de vante do hélice e, em seguida, impulsiona essa água, com grande velocidade, na direção da pôpa; esse bombeamento provoca uma reação da água nas pás do hélice, representada por baixa pressão em uma face e alta pressão na face oposta, cuja força resultante é transmitida ao eixo e, finalmente, ao casco do navio, por meio de mancal de escora. O rendimento dos hélices modernos é elevado; a segurança e a simplicidade do sistema são excelentes. A profundidade em que trabalham os hélices é importante; quanto mais profundos, melhor o rendimento, porque ficam reduzidos os efeitos prejudiciais da cavitação nas pás.

O governo do navio é feito pelo leme, pôsto sempre na pôpa. A razão de se colocar hélice e leme na pôpa é dupla. Uma delas é a segurança contra avarias causadas por objetos à deriva a mais importante, porém, é que

o seu efeito, o seu rendimento é maior na pôpa do que em outro local. O casco em movimento provoca o arrastamento de considerável quantidade de água à sua volta (esteira); na pôpa, o hélice trabalha dentro dessa esteira, que já tem uma certa velocidade para a frente, o que lhe aumenta substancialmente a eficiência. O leme, colocado geralmente por detrás do hélice, recebe a água em grande velocidade impelida por este, aumentando o seu efeito, permitindo o emprego de lemes menores.

Tôdas essas considerações são aplicáveis ao corpo humano, guardadas as devidas proporções. O corpo humano, ao nadar, tem forma, deslocamento, dimensões, superfície molhada, velocidade, propulsão e governo, assim como já vimos que tem fluidez e estabilidade.

4.1 — Resistência Oposta ao Movimento

O corpo humano encontra uma resistência que pode também ser decomposta em duas partes. A resistência de atrito depende da superfície molhada, do quadrado da velocidade e da aspereza da pele. Pele lisa, roupa adequada e uma camada adiposa sob a pele melhoram o rendimento do nadador. A aplicação de óleo ou graxa sobre a pele tende também a reduzir o atrito. Para as velocidades mais baixas, a influência percentual da resistência de atrito é maior; à medida que aumenta a velocidade do nadador, a resistência residual cresce rapidamente, tornando-se cada vez mais dominante. Nas provas de fundo, portanto, a não aspereza da pele e a adiposidade tornam-se mais importantes do que nas de velocidade. Para grandes distâncias, como a travessia da Mancha, os nadadores mais arredondados e gordos, além de manterem seus músculos mais aquecidos, empregam graxa sobre o corpo e obtém apreciável benefício em relação aos demais, auxiliados ainda pela melhor fluidez decorrente da gordura.

A resistência residual é de uma complexidade enorme. O corpo humano não tem uma forma fixa, ele se movimenta e altera continuamente. A cabeça, que representa a prôa, mergulha e emerge, gira para um lado e retorna; o tórax infla e murcha, alternadamente com o abdômen; os braços e as pernas estão em contínuo movimento. Acredito que a realização de experiências com modelos apresente dificuldades irremovíveis, e não guarde, como no caso dos navios, relação definida com o nadador, deixando de ter valor prático. O que se pode dizer a respeito são afirmativas de natureza geral. Quanto menor for a marola produzida, menos dispêndio de energia será exigido do nadador. Deve-se evitar bater com violência as mãos e braços na superfície, ou deixar que os pés aflorem à tona. Os movimentos de recuperação, efetuados contra a corrente, devem ser lentos, de modo a reduzir a sua velocidade relativa; o ideal é que, no caso dos braços, a recuperação seja executada sobre a superfície, quando então não terá o efeito de freio. Os corpos de linhas mais arredondadas, ombros caídos, músculos alongados e não atumescidos, apresentam-se favoráveis, sob o ponto de vista de forma.

Observa-se que, mormente nas provas de velocidade, a parte superior do corpo do nadador (cabeça e tronco) tende a elevar-se consideravelmente em relação à superfície da água. Dir-se-ia que o desportista procura imitar uma lancha planadora, levantando a prôa para diminuir a resistência. As condições hidrodinâmicas do nadador e da lancha são, entretanto, bastante diferentes. A lancha tem uma forma de casco em V que facilita a decolagem, e uma pôpa larga que lhe assegura estabilidade, deixando mergulhado apenas o hélice e pequena parte do casco; o homem expõe à água o peito, de formato convexo (casco em U), dispõe de pôpa fina (pernas e pés), o seu "hélice" principal são os braços, que ficam na prôa (ombros), e a maior parte do corpo ainda fica mergulhada.

Essa "posição" mais elevada tende a diminuir a superfície molhada (resistência de atrito) e reduzir a esteira, o que é um aspecto favorável quanto ao consumo de energia. Por outro lado, os braços não podem trabalhar tão profundamente (decréscimo de eficiência da braçada) e a produção de ondas aumenta (resistência residual). O jato do bombeamento de água da braçada fica mais próximo do corpo, havendo maior possibilidade de sua incidência sobre as pernas. Em resumo, há prós e contras, o que aconselha um estudo detalhado para concluir qual a atitude ideal do atleta, considerados o formato do corpo e a velocidade desejada.

O nado submerso reduz a resistência residual na parte da produção de ondas de superfície, efeito mais importante nas maiores velocidades. A necessidade de respirar e a impossibilidade de fazer os movimentos de recuperação fora d'água impedem que se possa tirar pleno proveito dessa vantagem real. Pelo menos na virada, parece-me possível obter ganho se ela for feita por baixo d'água, o que pode reduzir sobremodo a marola e evitar a esteira da vinda que, nas provas de velocidade, é grande. Considero muito importante este detalhe.

O nado em piscina de pouca profundidade ou largura é prejudicado, devido à reflexão das ondas no fundo e nas bordas. Do mesmo modo, a marola de um nadador na rala adjacente pode causar prejuízo pela interferência com a marola do nadador considerado, modificando a esteira e gerando vibrações inesperadas. Será proveitoso, porém, nadar logo atrás de outro atleta, porque se obterá o benefício da sua esteira; para longas travessias, essa talvez seja uma boa técnica, desde que não se colida com os pés do oponente.

A importância da esteira não deve ser desprezada. O deslocamento dessa massa de água que acompanha o nadador é conseguido a custo de esforço (consumo de potência). Todo proveito que for possível obter da esteira será importante. O abdômen e as pernas situam-se em uma posição na qual a esteira já é considerável e, portanto, os movimentos motores dos membros inferiores beneficiam-se desse fato, como os hélices dos navios.

O bombeamento de água para trás, resultante do movimento motor dos braços, tem efeito oposto ao da esteira; é necessário evitar o impacto desse jato de água a alta velocidade contra as pernas ou qualquer parte do corpo do nadador, pelo grande efeito de freio que isso pode acarretar.

4.2 — Propulsão

O movimento dos braços é facilmente compreensível, eis que se assemelha ao do remo. O percurso efetivo, o que se realiza em um setor de cerca de noventa graus, deve ser fundo e rápido, com as mãos em concha, para tirar o máximo proveito da maior resistência que essa maneira oferece à água. A recuperação, ao contrário, deve apresentar-se lenta, alta e com as mãos e braços em atitude que exponha a menor área transversal possível à corrente. Se possível, a recuperação é feita fora d'água, como no crawl, no borboleta e no nado de costas.

O movimento do braço para trás causa um aumento de pressão da água na palma da mão e nas partes do antebraço e braço voltadas para o abdômen, como também uma queda de pressão (sucção ou vácuo) nas costas da mão e nas faces do antebraço e braço voltadas para frente. Essa diferença de pressões produz uma força resultante que, através do ombro, propulsa o corpo para a frente. Quanto mais rápido for o movimento do braço, maior será a diferença de pressões, e portanto a força propulsiva. É interessante saber que, como na pá do hélice ou na asa do avião a baixa pressão (vácuo) contribui mais para a propulsão do que a alta pressão, isto é, as costas da mão concorrem mais do que a palma, para a eficiência da braçada. Os dedos devem ficar juntos, para evitar que as frestas possibilitem anular ou reduzir a diferença de pressões entre a palma e as costas da mão. Fazendo-se muitos furos no asa de um avião, ele perde sustentação e cai.

É preciso não esquecer, no movimento dos braços, que o nadador se está deslocando com uma certa velocidade em relação à água; por conseguinte a velocidade real, útil, da mão em relação à água é, no movimento motor, igual à diferença entre a velocidade tangencial (em relação ao ombro) e a velocidade do nadador. Vê-se com mais clareza a necessidade de executar o movimento tangencial com grande rapidez, para se obter o melhor efeito. Em contra-partida, na recuperação deve ser feita lentamente, para diminuir o efeito de freio.

As pernas levam a vantagem de, como o hélice do navio, trabalharem dentro da esteira. O seu funcionamento assemelha-se ao de uma tesoura, impulsionando a água para trás e de encontro à outra perna.

O ângulo de trabalho das pernas não é muito favorável à propulsão. O movimento da perna bombeia a água em uma direção bastante inclinada em relação ao eixo do corpo; entretanto, só contribui para a força propulsiva desejada o jato dirigido para trás, o resto é, esforço desperdiçado. Para melhor rendimento, parece-me que as pernas devem trabalhar em planos próximos, aumentando o efeito da tesoura. Isso porque os jatos in-

clinados, provenientes de cada uma das pernas, tendem a se encontrar, confluir, desviando-se e encaminhando-se, juntos, na direção desejada. Essa interferência de fluxos produz, em cada perna, uma alteração na distribuição de pressões, o que aumenta a força propulsiva produzida pelas faces de alta pressão das pernas. A limitação da articulação do joelho impede que as pernas funcionem como cauda de peixe, o que daria resultado superior. O movimento motor deve ser rápido, e o de recuperação lento. Os pés não devem sair da água, para evitar sucção de ar e reduzir a produção de ondas; também não podem ficar muito baixos, pois isso provocaria uma atitude inclinada do corpo, aumentando a resistência ao movimento. No mergulho, o movimento de pernas tende a ser mais eficiente do que na superfície; a maior profundidade reduz as desvantagens da sucção de ar e da cavitação.

As pernas têm um papel importante no equilíbrio do corpo, compensando os desvios provocados pelo movimento dos braços e da cabeça; auxiliam também a conservação do rumo desejado (governo).

O flexionamento dos joelhos e o movimento dos tornozelos e artelhos devem ser efetuados de forma a aumentar a resistência durante o movimento motor, e diminuir na recuperação. Quando o movimento de tesoura não é possível, as pernas devem funcionar à moda de uma cauda de peixe, embora isso não seja possível na forma e na extensão ideais.

As pernas devem evitar incidir sobre o jato de água impellido pelos braços, e procurar trabalhar dentro da esteira produzida pelo deslocamento do corpo.

O dispêndio de potência de um nadador é, certamente, muito superior ao de um peixe ou mesmo de uma prancha equivalente, movida a hélice. Em linguagem técnica, dir-se-ia que o rendimento propulsivo do nadador é muito baixo. A razão é simples: o corpo humano não foi projetado para nadar, como o foram o peixe ou a prancha. As formas, os membros, etc. são bons para outras finalidades, mas nós insistimos em usá-los também para nadar. Apesar das dificuldades, os resultados não têm sido tão maus assim, e vão melhorando sempre. O uso de acessórios, como pés de pato, aqua-lungs, etc. elimina ou reduz certas dificuldades e dá ao homem, artificialmente, qualidades que ele não possui. Por mim, estou satisfeito com o corpo humano, aceito as restrições que ele me impõe quando caio na piscina; então, penso que, em compensação, o peixe e a prancha não podem andar, guiar automóvel, ler jornal ou fazer conferência sobre natação.

5.0 — Conclusões

A missão que me foi confiada pelo Professor Waldemar Bianchi foi das mais penosas, obrigando-me a rebuscar os detalhes da física e da engenharia naval que não uso diariamente, e a empenhar toda a capacidade analítica e dedutiva de que disponho para relacionar os fenômenos naturais com a natação.

A termodinâmica, a hidrostática e a hidrodinâmica do nadador foram examinadas de forma qualitativa. Acredito que haja omissões e mesmo incorreções neste trabalho, pelas quais apresento as minhas desculpas. Um assunto como este merece pesquisa, porque muitos conceitos empíricos podem e devem ser reformulados à luz de um estudo mais detido dos fenômenos envolvidos. É provável que algumas experiências sistemáticas, orientadas, conduzam a ensinamento valiosos cuja análise objetiva, feita em conjunto por desportistas, médicos e engenheiros, resulte na revisão e na melhoria de certos procedimentos tidos hoje como imutáveis. O nadador é um homem que tem músculos, ossos, articulações, nervos, etc. Todas essas facetas são cuidadas e estudadas no trato com os atletas: exames médicos rigorosos, preparo psicológico, treinamento intenso, regime alimentar, controle de peso e de performance. E o comportamento do corpo humano perante as leis da mecânica dos fluidos? Talvez seja este um campo onde se possam conseguir, pelo menos, alguns décimos de segundo necessários a um record mundial. Natação moderna é sinônimo de precisão, de apuro levado ao mais alto grau. Tudo nela é importante, a diferença entre a vitória e o insucesso é pequena demais para que se possam desprezar detalhes. O Brasil atingiu um prestígio na natação internacional que exige que ele se mantenha junto aos grandes do mundo. E para isso, repito, tudo é importante.