

O «Túnel de Vento» do Laboratório de Hidráulica da Escola de Minas

(PRINCÍPIOS DE AEROTÉCNICA)

José de Carvalho Lopes

Engenheiro de Minas e Civil — Catedrático de Hidráulica da EMOP (Minas Gerais).

I

O corpo discente de nossa Escola está de parabéns. Inaugura-se como um preito ao 87.º aniversário da casa de Gorceix, um nôvo “Túnel de Vento”, trinta e seis vêzes mais potente que o pequeno túnel alemão Peter Koch que nos vem servindo desde que assumimos a responsabilidade do Curso em 1938, tendo prestado os mais relevantes serviços em um quarto de século. Ainda está com excelente estado de conservação, prestando serviço inestimável. Aqui vai uma advertência para o “currículum” do encarregado da conservação e manutenção, Sr. Marcel.

Os Velhos laboratórios de Hidráulica, à base água, estão fora de época. Custam dezenas de vêzes mais caro e as despesas de manutenção se mostram muito mais onerosas. Por outro lado, os Túneis de Vento (na literatura alemã: Windkanal, na francesa “Soufflerie Aerodynamique”, na inglesa Wind Channel, etc.), apresentam mais facilidade de manuseio (ar invés de água), permitem um ambiente não saturado, (estado higrométrico mais conveniente), maior facilidade nas medidas, melhor acesso com sondas em modêlos móveis como as curvas em asas de turbinas Kaplan) ocupam diminuto espaço, consomem em geral menos energia, etc.

A maior vantagem, porém, é de ordem didática. Pelo fato de se operar com ar, há grande elasticidade na aplicação dos modernos preceitos da Semelhança Mecânica e Modelos Reduzidos. Há emprêsas como a Escher Wyss que experimentam em túnel de vento rotores Kaplan em motores reduzidos de madeira. Eis o mais amplo conceito de semelhança:

- 1 — Semelhança geométrica. O modêlo reproduz a “semelhança de forma” em relação ao original industrial.
- 2 — Semelhança. Mecânica, isto é, entre as massas em jôgo, a do modêlo e a do original industrial.

- 3 — Semelhança hidráulica. Trajetórias de partículas, do original e do modêlo reduzido, semelhantes.
- 4 — Semelhança de fluido. Original será operado por água e o modêlo por ar.
- 5 — Finalmente, semelhança de material: original em rotor de aço, geralmente inoxidável, bronze, etc., e modêlo em madeira polida.

Além da inestimável vantagem didática, ocorre a preciosa e patente verdade: o rendimento do modêlo é superior ao do original, isto devido à “rugosidade relativa” (asperezas de mesmo material, chapas p. ex., divididas pelas secções de escoamento). Tal circunstância permite às entidades construtoras de turbinas a participação nas concorrências, apoiadas na “garantia prévia” de rendimento pré-fixado, item que muitas vêzes decide um empate nas competições. Não fôssem os prúridos da segunda grande guerra e teríamos adquirido, por pouco mais de 30 mil cruzeiros, em 1939, um túnel de vento de 25 HP, que a Escher-Wyss executou para a Universidade de Lausanne. Hoje a inversão orçaria por alguns milhões, mesmo com favores alfandegários. Pois bem, o nosso, com 18 HP, não foi além de meio milhão de cruzeiros. A seção é retangular, 500 x 1.500 mm, que se prolonga longitudinalmente fornecendo uma boca de 500 x 500 mm e duas derivações para a direita, em curvas suaves providas de guias tranquilizadoras do fluxo eólico. Consequentemente poderemos ministrar trabalho para três turmas diferentes, completamente independentes entre si, operando com velocidades diferentes simultâneamente, pois a cada uma das três bocas se poderão adaptar mais duas reduções: de 200 x 200 e de 100 x 100 milímetros. Pode-se contar, portanto, com $3 \times 3 = 9$ velocidades que se conjugarão com outras tantas decorrentes de cada estágio do reostato do motor elétrico trifásico que permite, sem inconvenientes, o tempo para leituras rá-

pidas intermediárias. "Tamanho elasticidade em velocidades somente foi possível com o tipo de túnel aberto". Conseguimos no Trabalho Prático de hoje (26-9-63), velocidade que causasse uma coluna vertical de álcool colorido de 49 mm. cuja velocidade seria:

$$V = \sqrt{2gh} = 4 \sqrt{49} = 4.7 = 28 \text{ metros por segundo ou}$$

$$V = 28.3 \cdot 600 = 100,80 \text{ quilômetros horários)}$$

o que já representa o transformarem-se os 18 HP num "tufãozinho" de 100 KM por hora, que permitiria "muita brincadeira" em Laboratório. Todavia, perguntar-se-nos-ão: se se trata de Hidráulica, que tem isto a ver com o ar? — Responderemos que a teoria e os fundamentos da técnica dos modelos reduzidos em semelhança mecânica provam que, sem erro intolerável, poderemos correlacionar tudo de ar com tubo de água, uma vez que as circulações dos respectivos fluidos guardem O MESMO NÚMERO DE REYNOLDS. Em tal caso, fácil de obter-se, mostram as fórmulas tradutoras da mecânica semelhança, a ação da viscosidade, sejam os atritos decorrentes, causam as mesmas reações de atrito. Número de Reynolds mede escoamento como o quilograma pesa feijão. Seria fácil, portanto, ao se desejar estudar tal aquaduto, estabelecer-se o homólogo eoloduto e terei as mesmas conclusões sem o perigo de salpicos de águas a me provocarem perturbações, muito ao contrário estarei numa atmosfera aerocondicionada...

Retrucar-me-iam, ainda, os hidro-laboratoristas: como se poderá estabelecer "canal de ar"? Onde a superfície livre? — Responderei "clássicamente" que no Brasil para tudo se "dá um jeito". Se desejo, por exemplo, abordar um dos mais belos capítulos do escoamento livre, o dos "canais trapezoidais de vazão máxima", que correspondem às seções de perímetro mínimo, posso verificar no Túnel de Vento as conclusões teóricas, que são belíssimas, estabelecendo canais de vento com taludes e fundo bastante ásperos e o tópo ou face interna da base maior do trapézio "absolutamente lisa"; seria esta a homóloga da superfície livre. Teria obtido planos verticais de repartição das velocidades em profundidade semelhantes aos "clássicos" encontrados nos canais "hídricos" artificiais ou naturais (cursos, rios). Teria as elegantes figurinhas dos nossos excelentes "Anuários Fluviométricos" do Serviço de Águas do atual Ministério de Minas e Energia, que, paradoxalmente por serem anuários, aparecem de 2 em 2 anos, e, às vezes, em três. Aviso que isto nada tem a ver com os nossos "Anais da Escola de Minas", que causariam inveja aos nossos antigos "Cometas".

Está claro que uma Escola de Minas não interessa a especialização em Aerotécnica. Isto ficaria bem para S. José dos Campos e outros estabelecimentos. O que preconizamos vem a ser "Princípios de Aerotécnica", para que os alunos façam idéia de sutilezas hidráulicas que somente o manuseio de

laboratório possa permitir. Por vezes nada adianta "repisar" em aula teórica o princípio de Bernoulli da conservação da Energia. O aluno adquire uma idéia vaga, a que se seguem mui frequentemente perguntas que chegam a desanimar o pobre professor já inflacionado...

Para "concretizar a afirmação" tomamos a liberdade e a "paciência" do leitor, resumindo o último Trabalho Prático que ministramos, justamente dos primeiros da "nossa" Aerotécnica e referente ao Teorema de Bernoulli, ou como o denominamos. "Materialização do Teorema da Energia de Bernoulli". Não significa espiritismo, embora se trate de coisa aérea... Antes de tudo é uma contribuição do 3.º ano geral e dos segundo minero-metalúrgico. Foi o TP realizado no dia 19-9-1963 e constou do que vai publicado oportunamente. Empregou-se, como o mesmo, o pequeno túnel Peter-Koch. Repetimo-lo, na semana seguinte (29-9-63) no túnel grande, com velocidade da ordem de 100 Km/hora, com expressivo resultado.

II

Considerações preliminares — Princípio da Conservação da energia ou de Bernoulli.

Da Ciência Geral Fluidomecânica derivaram a Hidromecânica e a Aeromecânica e as aplicações respectivas levaram o nome de Hidrotécnica e Aerotécnica. Presentemente, em nossa Era do avião e dos teleguiados, a última tornou-se dos mais importantes ramos da Fluidomecânica, e também pelo fato de ser muito mais cômodo e fácil o estudo dos fenômenos hidráulicos pela Aerotécnica, nos túneis de vento, que lidar com os mesmos em água.

A ponte que liga as duas técnicas é a teoria da semelhança e o estudo de Modelos Reduzidos.

O instrumento fundamental vem a ser chamado número de Reynolds, número puro, adimensional, que encerra a relação de duas forças: as da inércia e as viscosas.

$$(1) \quad R = \frac{F_i}{F_v} = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\eta}, \text{ em que } D \text{ é}$$

a dimensão característica do modelo, V é a velocidade de uma partícula de ar do fluxo, ρ a densidade do ar e η o seu coeficiente de viscosidade.

Este importante elemento R , define, mede um escoamento e pode fixar a fronteira que separa as duas grandes classes de escoamento: laminar e turbulento. Fixada a velocidade crítica, êle estabelece a faixa 2 000 a 3 300; seja 2 300 como separatória das duas citadas classes. Fácil seria provar que os nossos escoamentos hidráulicos da rotina são da ordem de 10^5 (cem mil) e portanto francamente turbulentos, daí o nome de "regime turbulento ou hidráulico."

Na aviação comum é da ordem de 10^6 (um milhão) e os modernos jatos o levam a 10^7 .

Sem fugir às leis da semelhança, mas obedientes às suas imposições, somos conduzidos a inferir que a um escoamento hidráulico corresponde um aerotécnico.

- 1) Um canal de água terá, portanto, o seu homólogo de ar;
- 2) A massa de um modelo guardará relações com a da representação real;
- 3) Trajetórias hidráulicas terão suas semelhantes nas do ar;
- 4) Fluidos diferentes se vincularão por propriedades homólogas;
- 5) Materiais diversos serão experimentados e seu comportamento comparado.

Daí decorrerem os vários tipos de semelhança: no primeiro caso temos a semelhança da forma, ou semelhança geométrica; no segundo a mecânica; no terceiro a hidráulica, no quarto a de fluidos c, finalmente, no quinto a semelhança de materiais.

Citam-se grandes fábricas de turbinas que se valem dessas semelhanças com modelos reduzidos. Sabemos, por exemplo, que a Escher-Wyss estuda os perfis Kaplan em modelos de madeira, no Túnel de Vento.

A fórmula de Bernoulli, ou equação da energia, alicerce de toda a aerotécnica, foi deduzida em aula e se escreve:

$$(2) \quad z + \frac{p}{\omega} + \frac{V^2}{2g} + \varphi_{M1M2} = H = \text{const.}$$

tante, sendo os significados de seus termos aqueles mesmos da hidrodinâmica, agora aplicados ao ar. Assim, a soma $z + \frac{p}{\omega}$ nos indica o nível piezométrico, da mesma maneira que

$$\left(\frac{p}{\omega} + z + \frac{V^2}{2g} \right)$$

define o plano de carga aerodinâmico.

Os dois primeiros termos se denominam

z — energia de posição,

$\frac{p}{\omega}$ = energia de pressão, e a sua soma é

a energia potencial.

O terceiro $\frac{V^2}{2g}$ é a energia cinética ou atual.

Finalmente o quarto, e último, vem a ser a perda de carga. Os três primeiros se intercam-

biam, porém esta é irreversível e perde-se sob a forma de calor, disseminado na massa fluida.

Pêso do ar da sala de experiências —

O valor de ω poderemos obter da equação dos gases reais:

$$(3) \quad pv = RT = 29,27 (273 + t^\circ) \text{ ou}$$

$$(4) \quad \frac{p}{\omega} = 29,27 (273 + t^\circ) \text{ por ser}$$

$v = \frac{1}{\omega}$ por consideração de pêso unitário. Finalmente

$$(5) \quad \bar{\omega} = \frac{p}{29,27 (273 + t^\circ)}$$

Características infinitas —

Se chamarmos os valores de p , ω e V , respectivamente de p_∞ , ω_∞ e V_∞ , do ar quando em regime na descarga do túnel de vento, (fig. 1), sem perturbação, isto é, assim condicionado por meio de guias i , lâminas longitudinalmente dispostas dentro do túnel, presas à sua parede e normais a ela, diremos que êsses valores têm características infinitas, separando o infinito montante e o infinito-jusante, conforme a secção transversal que se considerava interessando as zonas perturbadas ou não, do jato.

Explicamos. Quando as moléculas de ar de um fluxo encontram um obstáculo, a sua trajetória toma uma forma curva, como se percebe na fig. 1.a, supondo a superfície do obstáculo carenada, do contrário outros fenômenos ocorreriam, e volta a assumir novamente o estado anterior, após o obstáculo, numa proximidade maior ou menor dependendo da forma dêste.

O ponto M_∞ , possuindo as características acima, mostra o infinito-montante em relação ao obstáculo, e um outro ponto qualquer, M_∞ , após o obstáculo, depois de reestabelecido o estado primitivo define o infinito-jusante.

Feitas estas considerações, anotamos as seguintes vantagens da aerotécnica sobre a hidrotécnica:

- 1) Não há perda de energia sensível, devido à regularidade do fluxo e à viscosidade dinâmica, o erro sendo da ordem de 1%, assim o diz a experiência.
- 2) Faz-se na equação da energia a abstração dos termos z e φ_{M1M2} por operarmos na mesma sala e o ar pesar aproximadamente 800 vezes menos que a água.

Vamos escrever a equação de Bernoulli atendendo às condições de características infinitas:

$$(6) \quad \frac{p_\infty}{\omega_\infty} + \frac{V_\infty^2}{2g} = \frac{p}{\omega} + \frac{V^2}{2g} = H = C^{10}$$

Uma alusão à velocidade deve ser feita, pois se seu valor ultrapassa a metade de um Mach já haverá alteração que poderá comprometer os resultados. Surgirão as "ondas de choque" e o regime de escoamento não mais será permanente.

Vejamos o erro cometido quando anotamos, por exemplo, no grande túnel de vento, 30 metros por segundo. A impulsão seria

$$\rho V^2 = \frac{\bar{\omega}}{g} \cdot V^2 = \frac{1}{9,8} \times 30^2 = \frac{900}{9,8} = 92 \text{ Kg/m}^2$$

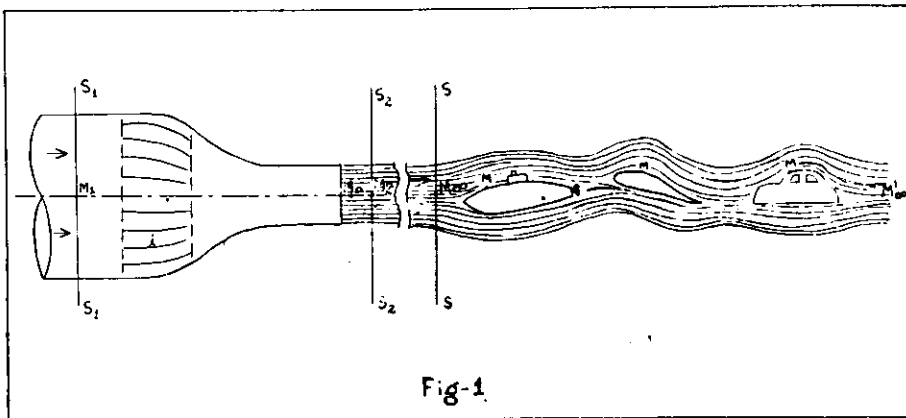


Fig-1.

Surge então a necessidade de se operar em túneis de vento sob maior escala de modelos para suprir a deficiência do tratamento matemático. Há túneis com mais de cem mil HP...

Como objetivação da fórmula de Bernoulli, vamos considerar um modelo de automóvel, por exemplo.

Podemos supor, pela lei da ação e reação de Newton, que o modelo, fixo ante um fluxo de ar de velocidade V sofra os mesmos efeitos que se estivesse livre em movimento, à mesma velocidade V , no ar.

O primeiro membro da equação (6) se refere a uma secção montante.

Mais além, a incidência do jato contra o modelo provoca modificação na trajetória das partículas de ar, como já o consideramos.

Mas é desse fenômeno de que nos valeremos para as nossas observações: distribuiremos, segundo uma certa regularidade, furos sobre o modelo e posteriormente os obturemos com cêra ou parafina, fáceis de remoção com um alfinete.

Ao aplicarmos o jato de ar sobre o modelo, operamos em cada furo de per si, removendo a substância de obturação de cada um na região em observação e lhe acoplamos um micro-manômetro que irá registrar a pressão, ou depressão em cada furo correspondente.

Estes valores, substituídos na fórmula (6), nos darão elementos para o traçado do diagrama das pressões e depressões a que está submetido o objeto em exame. A direção da pressão, ou depressão,

O erro decorrente da admissão da incompressibilidade seria $\frac{92}{9600} = 0,00956$, menos de 1%.

Acima dessa velocidade a hipótese da incompressibilidade não mais se fará sentir e os erros decorrentes se tornarão intoleráveis, como no caso da propulsão a jato. O X-15 norte-americano chega a alcançar mais de 6 Mach (+ 7 000 Km hora).

será a da normal à tangente no ponto considerado, do objeto, e o seu sentido será positivo para as pressões e negativo para as depressões. Assim poderemos, mediante uma escala pré-adotada, esquematizar as curvas correspondentes para o nosso modelo, vistas na fig. 2. (*).

Lembremos ainda que, para o ar incidindo frontalmente no exemplo em questão devem ser ajustadas, lateralmente, "flanges" para evitar aí turbilhões laterais. Assim, as curvaturas laterais serão compensadas por superfícies cilíndricas relativas ao plano longitudinal mediano. Dêsse modo operaremos "bidimensionalmente", a correção se fazendo em comparação com os esforços da balança.

Coefficiente de pressão —

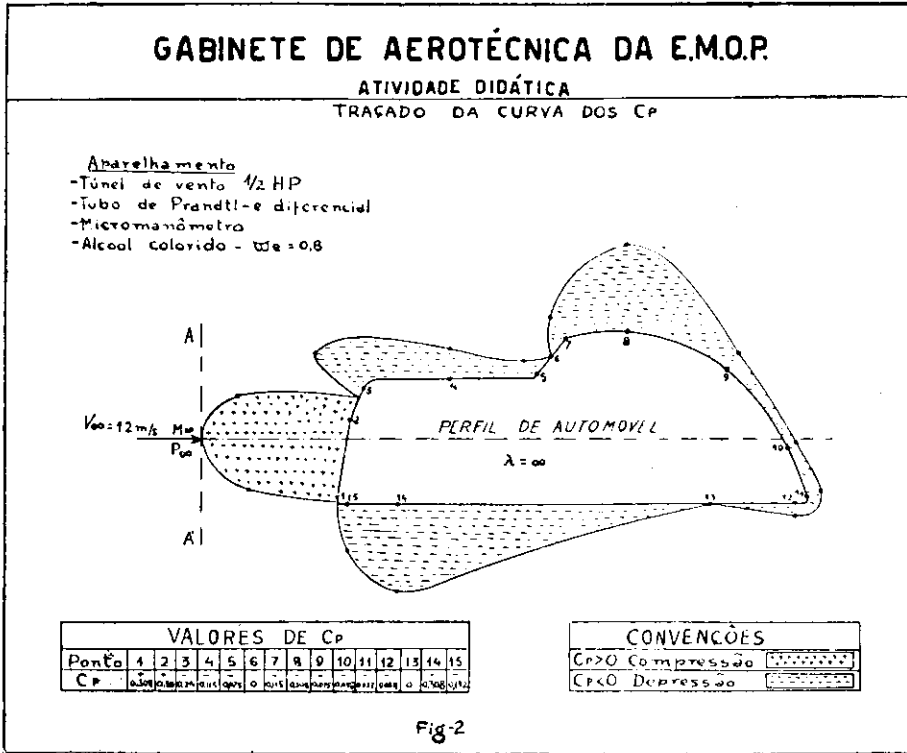
Da fórmula (6) podemos concluir o coeficiente de pressão:

$$(6) \quad \frac{p_{\infty}}{\bar{\omega}} + \frac{V^2_{\infty}}{2g} = \frac{p}{\bar{\omega}} + \frac{V^2}{2g} = H \text{ (plano de carga)}$$

$$(7) \quad \frac{p_{\infty} - p}{\bar{\omega}} = \frac{V^2 - V^2_{\infty}}{2g} \quad \text{ou}$$

$$(8) \quad \frac{p - p_{\infty}}{\bar{\omega}} = \frac{V^2_{\infty}}{2g} - \frac{V^2}{2g}$$

(*) Tal sistema de coordenadas é chamado em Aero-técnica: "Pseudo-polar".



que pode ser posta sob a forma

$$(9) \quad \frac{p - p_\infty}{\omega} = \frac{V^2_\infty}{2g} \left[1 - \left(\frac{V}{V_\infty} \right)^2 \right]$$

finalmente

$$(10) \quad \frac{p - p_\infty}{\frac{V^2_\infty}{2g}} = \left[1 - \left(\frac{V}{V_\infty} \right)^2 \right] = C_p$$

cuja aplicação é análoga à que acabamos de ver para a equação da energia, apenas aqui o gráfico representa uma função de C_p . Para maior perceptividade e conceituação desse coeficiente, vamos estabelecer o quadro abaixo onde objetivaremos a significação de C_p nas diversas hipóteses.

A discussão e formação do quadro citado decorrem das fórmulas (9) ou (10).

O modelo em experiência tem uma câmara central para onde irão ter os furos quase capilares como canaliculos que são do perfil definidor na superfície sob ação do vento.

Da câmara sai um tubo que se liga à mangueira que irá ter a um dos ramos do micromanômetro. A pressão ou depressão no furinho livre (numerado) irá transmitir-se ao micromanômetro e nos dará o

$$(11) \quad \frac{p - p_\infty}{\omega} = \frac{\Delta p}{\omega} \text{ donde}$$

$$(12) \quad C_p = \frac{\frac{\Delta p}{\omega}}{\frac{V^2_\infty}{2g}}$$

C_p	P_M	V_M	Observações:
0	P_∞	V_M	Valores do jato normal — ponto neutro
1	H	0	Impacto frontal.
>0	> P_∞	< V_∞	Zona de pressão (frontal no modelo)
<0	< P_∞	> V_∞	Zona de depressão (no teto do modelo)

Consequentemente, e isto será da máxima importância, as curvas dos C_p nos darão as zonas de pressão e depressão numa escala $\frac{V_\infty^2}{2g}$.

Ter-se-ão os esforços:

$$(13) \quad \pm \frac{\Delta p}{\bar{\omega}} = C_p \frac{V_\infty^2}{2g}$$

Uma integração gráfica dessas áreas limitadas pelas curvas C_p com os respectivos sinais nos dará o esforço a que ficará submetido o veículo (no caso automóvel "sedan") em movimento, devido à ação de pressão, pois a essa resistência se somará, como veremos em outro artigo, a devida ao atrito.

A primeira depende da forma exterior do modelo mais aerodinâmico ou menos aerodinâmico, por isso chamada "ação de forma" ou de pressão.

A segunda depende do estado da superfície do modelo: mais polido, mais áspero, sendo a "ação de atrito" ou de rugosidade.

Interpretando as curvas dos C_p no modelo da fig. 2, chama-nos a atenção o $C_p = 0$ no parabrisa, o que é estranho uma vez que o extradorso da placa nesta incidência dará evidentemente pressão. Isto, porém, se dará para placa isolada, quando, em nosso caso há o efeito vizinho da grande depressão do teto da "sedan". As coisas são, pois, diferentes. Outra observação a considerar é que a depressão no teto irá causar diminuição de compressão dos pneumáticos trazeiros sôbre a chapa de rodagem da estrada.

Quanto maior a velocidade, portanto, menor a estabilidade lateral. Ainda sôbre as curvas de C_p , diremos: segundo o velho teorema de Rolle, está claro que não poderemos passar do estado de pressão ao de depressão sem percorrer os valores intermediários, e entre êsses valores está aquêle em que $C_p = 0$, $P_M = P_\infty$ e $V_M = V_\infty$, para os furos M considerados, o que pode ser percebido na fig. 3.

Para um ponto em que a velocidade da partícula se anula, o coeficiente de pressão se igualará à unidade e a equação de Bernoulli, para êste valor, nos dará o valor da energia do jato:

$$(14) \quad H = \frac{P_\infty}{\bar{\omega}} + \frac{V_\infty^2}{2g} = \text{energia total, cedi}$$

dida pela molécula, com a sua paralização total.

Experimentando êsses conceitos com um perfil de modelo de asa de avião obteremos um gráfico semelhante àquele da fig. 4, uma depressão no extradorso e uma pressão no intradorso que, conjugadas, motivarão a sustentação do aparelho; I será o ângulo de incidência: se positivo o avião sobe e se negativo desce.

Estabelecidas estas considerações, de ordem geral, vejamos algumas aplicações práticas, decorrentes da rotina de trabalhos executados em nosso Laboratório, inicialmente, desde 1939, com pequeno Túnel de vento Peter-Koch-Eck e, presentemente, com o "nosso grande" Túnel, de 18 HP descrito capítulo I. Torna-se evidente que com o primeiro Túnel, nossos trabalhos assumiam caráter mais "qualitativo" e presentemente, com o túnel de 18-HP estamos imprimindo um sentido "quantitativo" em nossos trabalhos práticos.

Daremos, pois, num programa sem sequência de artigos, nos próximos futuros números desta Revista, a série de exercícios que assim denominaremos:

Trabalho n.º 1) — Princípio da Energia: BERNOULLI. Transformação-Conservação. Utilização de um tubo de secção variável, espécie de Venturímetro de ar. Visualização pressão-depressão com álcool colorido de encarnado e de $\bar{\omega}_e = 800 \text{ kg/m}^3$.

Os alunos empregaram um Multimanômetro com dez tomadas.

Foram feitas as determinações seguintes:

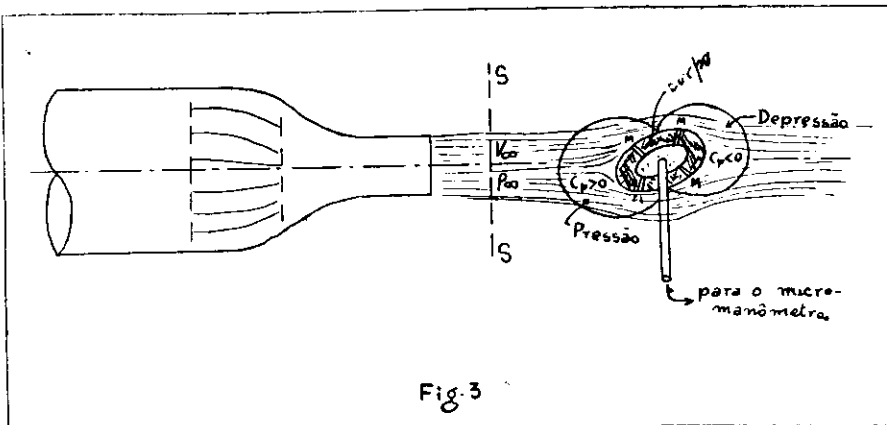
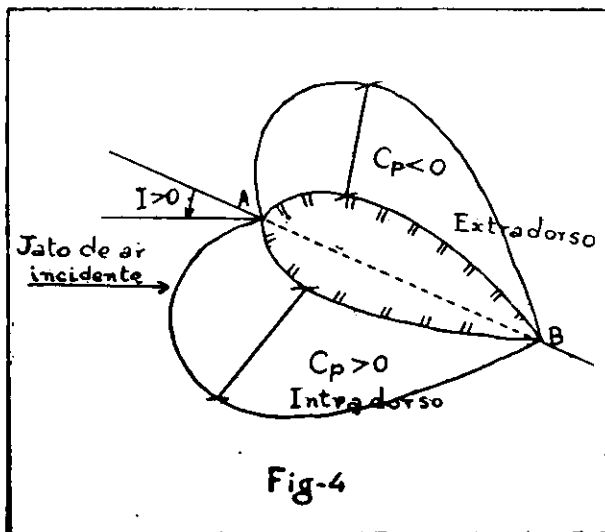


Fig. 3



a) — Pêso do ar da sala do Laboratório, como indicado no começo deste artigo ($\bar{\omega}_\infty$) e pressão atmosférica local = p_∞ .

b) — Com emprêgo do Tubo de Prandtl acoplado ao Micro-manômetro foi calculada a velocidade do jato não perturbado V_∞ empregando-se a conhecida fórmula prática deduzida em aula

$$V_\infty = 4 \sqrt{h_e}$$

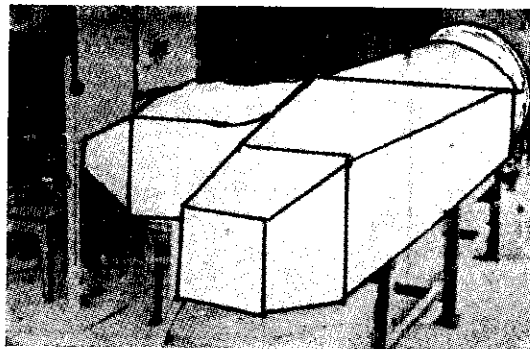
h_e = coluna vertical em milímetros de álcool colorido (e = etílico);

V_∞ = velocidade do ar em metros/seg.

c) — Efetuam-se tôdas as leituras no micromanômetro, em milímetros de coluna de álcool colorido, que multiplicadas por 0,8 darão milímetros de colunas de água, seja cada milímetro um Kg/m², que serão: positivos ou compressões e negativos ou depressões.

Com o túnel parado, o tópo das colunas de álcool colorido, projetadas num papel milimetrado colado atrás do multi-manômetro, delineará a horizontal zero de referência das pressões efetivas. Movimentando o túnel, esta linha se deforma, evidenciando que as colunas que sobem, aspiradas, marcam depressões ($C_p < 1$) e as que descem, premidas pelo ar, indicam compressões ($C_p > 1$).

É importante observar que a horizontal zero é o plano de carga absoluto (1). No diagrama em



O "nosso grande" Túnel de 18 HP.

papel milimetrado é o tópo da pressão atmosférica. Teremos, em seguida, que passar esta horizontal para o diagrama normal, no qual, contrariamente ao que se dá nas colunas de álcool, as pressões ($C_p > 1$) se marcam acima da mesma e as depressões ($C_p < 1$) se "ponteiam" abaixo. A curva resultante será inversa, como se girássemos de 180° a anterior (de álcool) tomando a horizontal zero como eixo de rotação.

d) — Acima da linha zero, no segundo diagrama, traça-se a horizontal da "Linha de Energia", distanciada $V^2/2g$.

Próximamente daremos diagramas e dados numéricos.

(1) Linha piezométrica absoluta.