

# Contribuição para utilização do "Rotor" na aviação e aproveitamento dos ventos

---

---

JEAN MICHEL.  
Eng-Agronomo I. A. G.

Proemio — Se bem é certo que "*o futuro está no ar*", ninguém estranhará que na terra dos Gúsmão, Santos Dumont e outros pioneiros do vôo mecânico, venha á luz mais um projecto de aparelho, cujas principaes características bastante se afastam daquellas dos modelos em voga.

Trata-se, com effeito, de uma especie de "rollo aereo", comprimindo o ar por cima do qual avança, como o rolo dos campos calca a terra lavrada, aproveitando-se das propriedades sustentadoras de que gozam as superficies em giração rapida chamadas *rotors*, de forma cylindrica ou tronconica, ás quaes, convenientemente dispostas e carenadas, devem ser tambem propulsoras.

A solução do problema aereo, assim obtida, seria de maximo interesse porque, alem de exigir uma energia insignificante no vôo horizontal, tambem pouco requer pilotos experimentados, nem terreno preparado para a partida e o pouso, bastando apenas a destreza do conductor prudente e algumas braças quadradas de chão limpo, circunstancias particularmente favoraveis para regiões como o Brasil.

Porque, alem de serviços como *extinção de incendios; lucha aerea contra pragas, nos campos e nas mattas, com tal efficacia, que varios países ja o tem metodicamente estabelecido; o policiamento rural e o correio; os levantamentos topographicos; no seu geral emprego no turismo*, o dispositivo que estudamos daria tambem uma optima solução ao problema da *utilização das forças eólicas*.

O aparelho que projectamos não visa realisar grandes velocidades, nem desafiar as nuvens.

Com a possibilidade de se tomar a linha recta para ligar dois pontos, uma velocidade de 50 para 60 por kilometros hora parece sufficiente, mormente tratando-se de percursos relativamente curtos, como accontecerá nas applicações acima indicadas, e, para gozar a paisagem, altitudes comprehendidas entre 150 e 200 metros acima do terreno apontam-se como os

mais favoráveis, sendo que ellas respondem perfeitamente ás condições do avião utilizando os rotores.

Eis o fim que procuramos estudando e apresentando sob o nome de "Rotorette" a mais simples applicação dos rotores, cujos principios e dispositivos damos a seguir.

O "efeito ou força Magnus" — Em 1852 o physico allemão Magnus, encarregado de estudar uma anomalia nas trajectorias dos projectis das armas raiadas, chegou á seguinte conclusão :

"Um corpo em rapida rotação, recebe pelo lado uma corrente de ar, e experimenta ao mesmo tempo uma pressão que o leva para a direita ou para a esquerda da corrente, conforme o sentido da giração".

Essa pressão lateral, cuja direcção é sensivelmente normal áquella da corrente de ar, e conhecida sob o nome de "efeito Magnus". Esquecido por mais de meio seculo, pouco antes da grande guerra se fizeram algumas experiencias para saber do valor da força Magnus e, em 1915, os irmãos Scott offereciam ao "War Office" a patente de um apparelho com cylindros rotativos, substituindo as azas dos aviões.

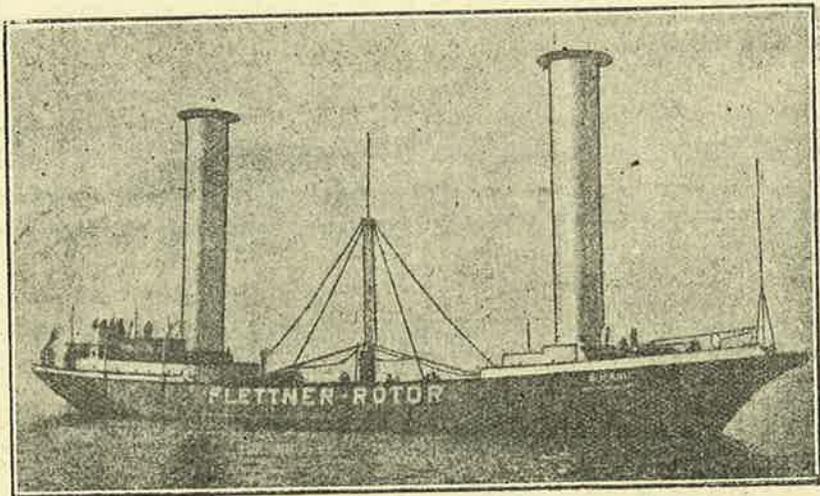


Fig. 1 -- Buckau (Navio com rotor Flettner).

Foi porem o allemão Flettner que, praticamente, utilizou o efeito Magnus para a navegação maritima, demonstrando que cylindros em giração, ou *velas rotativas* do seu systema, applicado em primeiro lugar no Buckau, barco de 900 toneladas, e depois no Barbara, de 2.900 toneladas, podiam imprimir aos mesmos velocidades commerciaes interessantes, com grande economia de força e combustivel.

Com rotores de 4 metros de diametro e 17 m. de alto, tendo portanto a superficie de 204 m. q. cada um, ou sejam 612 m. q. para os tres rotores do Barbara, que giravam a razão de 160 revoluções por minuto, correspondendo a 32 m. por segundo de velocidade peripherica, obteve-se nelles uma pressão de 20 kilos por metro quadrado, ou sejam . . . 12.000 kilos no total.

Esta pressão, com ventos de 9 para 10 metros por segundo, chegou a imprimir ao barco uma marcha horaria de 11 milhas.

Como a potencia exigida por cada rotor foi de 50 cavallos-vapor, ou sejam 150 C. V. para os tres rotores, o coefferente de utilização da força do vento, devido aos dispositivos, foi de :

$$\frac{12.000 \text{ kilos} \times 1.600 \text{ m.} \times 11 \text{ milhas}}{3.600'' \times 75} \div 150 \text{ C. V.} = 5,33$$

ou 533 por cento !

Os rotores na aviação — E' facto tambem comprovado experimentalmente que as velas rotativas utilizadas por Flettner na navegação maritima, quando collocadas horizontalmente, podem produzir valores muito elevados nos coefferentes de sustentação e de resistencia.

Com superficies e velocidades iguaes, tacs velas desenvolvem esforços dynamicos notavelmente superiores aos das azas de avião de perfil habitual. Porem, se o emprego de cylindros augmenta a sustentação, parece que tambem cresce a resistencia ao avanço, e isto em proporção maior do que aquella, circumstancia esta que, sendo verificada na pratica, tornaria impossivel a sua applicação porque, assim sendo, a potencia necessaria para vencer essa resistencia seria prohibitiva.

Uma contradicção a esta affirmação parece encontrar-se no facto do Buckau em primeiro lugar, e do Barbara a seguir, poderem "bordejar" sob 30 graus, ao passo que, theoreticamente, o effeito Magnus se exerce sob 90°. O avanço sob 30° indica ao certo que, em condições convenientes, o rotor penetra no vento, criando uma componente propulsora que justifica a impressão publicado no "Temps", de Paris, em 1.º de agosto de 1925, dizendo: "le bateau se hisse em avant comme s'il existait une cremallere invisible marquant sa route" E isto, porque a acção do vento conserva-se favoravel, mesmo quando o angulo que forma com a direcção da força Magnus se afasta do recto, podendo variar (de mais ou menos 50°) em

volta da normal á mesma — (Eng.º Constantin em "La Nature" de 10 de Janeiro de 1928).

De facto, a maior parte da resistencia que experimenta um cylindro rotativo se deve a phenomenos turbilhonarios que se produzem na face do cylindro opposta a aquella que recebe o vento, no espaço que deixam entre si, antes de se reunirem, as duas fatias fluidas que passam por cima e por baixo do cylindro.

Os espectros aerodynamicos tirados do "Flight", e reproduzidos por Chait na publicação "Le Rotor, instrument á progrès" (Livraria Hachette, Paris) permittem, com a variação da velocidade de analysar o fenomeno.

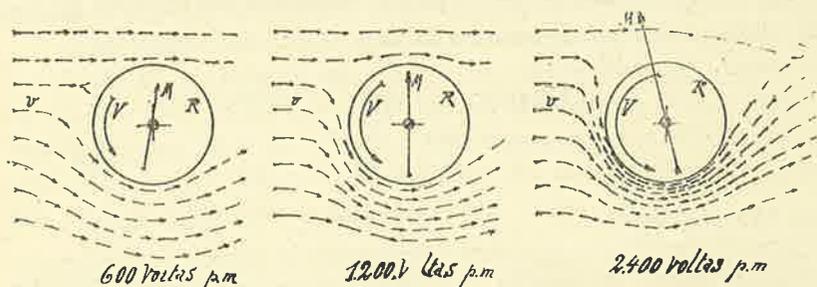


Fig. 2 — Espectros aerodynamicos (Flight)

A figura 2 illustra a posição da força Magnus cuja direcção é indicada pela compressão que experimentam os filetes fluidos na parte inferior do cylindro, e pelo vão produzido no polo opposto, existindo outro vão causador da resistencia ao avanço, e deixado na parte posterior pelas camadas de ar antes de ellas se juntarem de novo, provocando redemoinhos e perda de força.

Com effeito, como o indica a :igura 3 existe uma zona de compressão *C* na parte inferior do rotor, opposta a outra de depressão ou de sucção *S* no polo superior, além daquella de distensão *D*, posterior, onde os fluidos arrastados e comprimidos pelo rotor, vão se reunir aos da parte superior mais ou menos dobrados para abaixo.

A velocidade de rotação influirá naturalmente sobre a posição de *S* e de *C*, cuja conjugação constitue a força Magnus *M*.

Quanto a *D*, parece que carenando convenientemente o rotor, seja possível :

1.º recuperar parcial senão totalmente, a quantidade de movimento que os filetes fluidos abandonam ao distender-se, e evitar a perda de força devida aos redemoinhos;

2.º continuar a sucção dorsal S cuja efficacia sustentadora é tão importante ;

3.º supprimir ao mesmo tempo a resistencia ao avanço, enchendo o vão deixado e utilisando a distensão em proveito da propulsão.

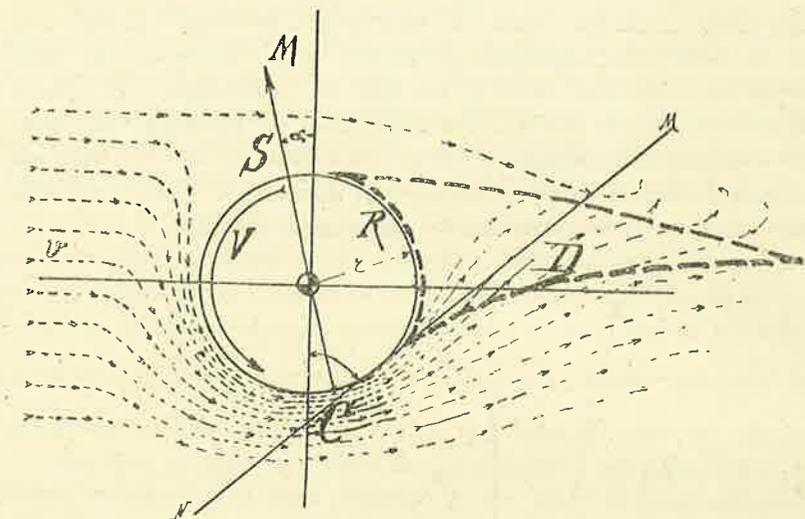


Fig. 3 --- Direcção da força Magnus N.

Foram estas as razões que conduziram á ideia da *aza com rotor, de perfil em forma de virgula*.

A revista "Le Génie Civil" de 17 de Abril de 1926 traz na pagina 361, algumas indicações relativas a tentativas e experiencias desse genero, feitas no "Langley Memorial Laboratory" E. U. A., outros do "Luchtvaart" de Amsterdam, e figura tambem um perfil do engenheiro austriaco Gligorin, que não condemnam as anteriores hypothesis.

**Perfil da aza e forma dos rotores** — Como fica indicado na *figura 4* o dispositivo "rotor-aza", com perfil de virgula, em condições de superficie e velocidade convenientes, dirige para avante, a força Maguns M, que combinada com a acção A da aza, da a resultante M A.

Com rotores de 0<sup>m</sup> 30 de diametro medio e uma velocidade periphénica sufficiente essa resultante decompõe-se numa vertical sustentadora P, superior a 100 kilos por metro corrido de rotor-aza, e outra horizontal propulsora T, sufficiente para lograr o avanço desejado resultado subordi-

nado porem á existencia de uma relação conveniente entre a velocidade  $V$  do vento relativo com aquella  $v$  da superfície do rotor, isto é

$$\frac{V}{v} = w$$

As variações de  $w$ , pelo acelerador no motor, ou pelo freio de fricção sobre o eixo dos rotores, as modificações do angulo da aza pelo plano de estabilização longitudinal, ou ainda a acção simultanea da parte posterior movel das azas, darão a medida das possibilidades do avanço horizontal, ascensão ou descida, bem assim como da resistencia do aparelho ás acções perturbadoras do voo a pouca altitude, devidas estas aos accidentes do terreno ou de plantações, cuja influencia é sensivel até uma altura equivalente a tres vezes aquella dos mesmos obstaculos.

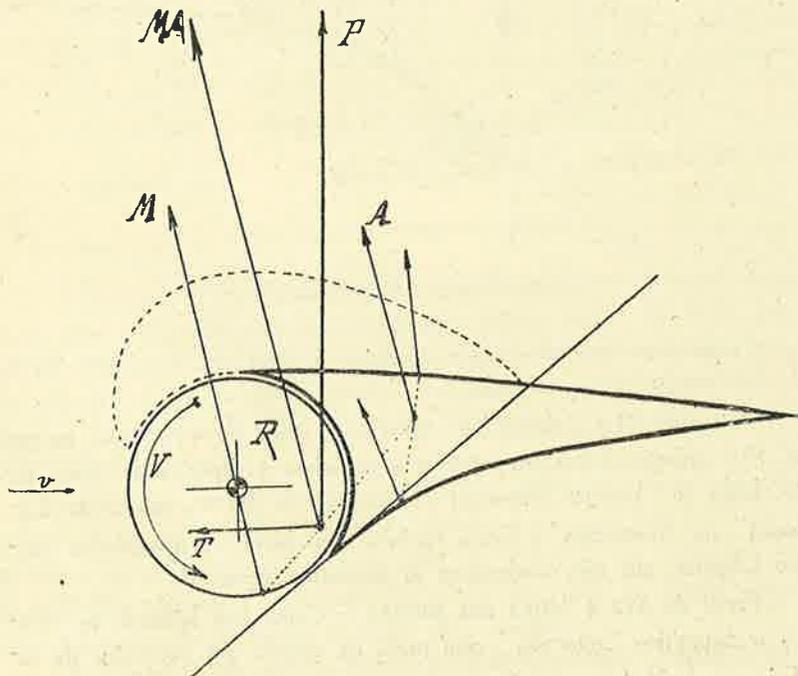


Fig. 4 --- O rotor carenado em forma de virgula

Assim é que chamando  $V$  a velocidade peripherica do rotor  $R$ , e  $V$  do vento relativo, o effeito Magnus será maximo quando:

$$\frac{V}{v} = w = 3,5 \text{ segundo Flettner, ou } w = 3,2, \text{ conforme os}$$

experimentadores de Luchtvaart de Amsterdam. (Comunicação ao 3.º Congresso Internacional de Aeronautica de Bruxellas, em Outubro de 1925).

Quanto á sustentação, já antes da guerra o commandante Lafay attribuia-lhe um valor duplo daquelle da aza com os perfis mais finos do momento.

Mas se estes muitos melhoraram desde aquella epoca, mercê da descoberta de novos metaes duralumin, lantal, etc., leves e resistentes, os rotores tambem podem girar com maior velocidade, ou ter maior diametro.

Resultado: Chait no seu trabalho já mencionado dá, na pagina 47, um diagramma no qual com  $V=10$  metros - segundo a sustentação maxima, por metro quadrado do rotor, attinge 60 kilos (exactamente  $59^k 370$ ).

Como já o indicamos, o exame dos espectros aerodynamicos correspondentes aos diversos valores de  $w$  mostra claramente que a força Magnus  $M$ , resultando da combinação da sucção dorsal  $S$  com a compressão  $C$  na face ventral, desloca-se progressivamente para a frente, a medida

que cresce a relação  $\frac{V}{v}$  ou  $w$ , até um valor limite, fixado este pela fadaldade de arrastamento do fluido pela superficie do rotor em giração.

De facto os experimentadores da "Luchtvaart", usando cylindros de 37 mm. de diametro na parte dianteira de um perfil de aza, comprovaram que o effeito Magnus cresce até uma rotaçào optima, para ficar estacionario nesse ponto, mesmo com velocidades 3 ou 4 vezes maiores.

E para se obter a componente propulsora  $T$  sufficiente, basta que a resultante  $M A$  se dirija com alguns graus para a frente, pois a resistencia ao avanço é pouca, devido á rotaçào, á velocidade  $V$  relativamente pequena, e ao perfil adoptado para a aza que deve ajudar, em vez de retardar a marcha do aparelho.

Ajuntando pois ao rotor uma aza convenientemente perfilada—(fig. 3)—lograremos:

a) continuar a sucção dorsal e obter uma acção util na face superior da aza;

b) recuperar na face  $D$ , uma quantidade de movimento representada pela pressão e distensão, com perda da velocidade adquirida, pelos filetes fluidos os quaes, logo que abandonam o rotor, attaccam tangencialmente esta parte da aza; a resultante  $A$  das acções dorsal e ventral, sensivelmente parallela á força Magnus, é favoravel ao avanço, em vez de se oppor á marcha do aparelho, que tanta energia consome nos aviões em uso.

Taes são os resultados que é permitido esperar do "rotor-aza", com perfil de virgula.

Sendo  $\alpha$  o angulo formado com a vertical pela resultante  $M A$ , a componente sustentadora.  $P = M A \cdot \cos. \alpha$ , e a propulsora  $M A \cdot \sin. \alpha$ .

**Dimensões e forma dos rotores** — Os rotores serão cylindricos ou ligeiramente tronconicos. Esta ultima forma, se não houver diminuição da efficacia por arrastamento desigual do fluido, conviria melhor para a repartição dos esforços e, pelo  $V$  muito aberto, augmentaria o equilibrio lateral, aliás automatico, devido á posição baixa do centro de gravidade.

Os aparelhos ficariam tambem mais estheticos com os rotores tronconicos. Quanto ao diametro destes, parece pratico, encara-lo entre  $0^m 25$  e  $0^m 50$ , para evitar velocidades angulares exageradas assim como esforços centrifugos perigosos, pelas vibrações que provocariam.

Dirá a experiencia se é conveniente que tenham a sua superficie polida ou não, granulada ou ligeiramente estriada. Ella indicará tambem a utilidade das chapas divisoras no extremo dos rotores, para assegurar o melhor rendimento da sucção dorsal, seja collocando as na parte média somente ou tambem na ponta das azas.

O perfil assim definido está representado pela figura 4.

Sendo  $r$  o raio do rotor  $R$ , cuja velocidade peripherica é  $V$ , as faces, dorsal e ventral, da aza têm raios respectivamente eguaes a  $16 r$  e  $4 r$ , e são tangentes ao rotor, a primeira no polo superior e a segunda, num ponto  $O$  da tangente  $M N$  ao rotor, a qual representa a direcção media dos filetes fluidos, que abandonam o mesmo com a velocidade adquirida.

$M N$  formará com a vertical um angulo de  $50^\circ$  em condições de marcha normal.

A curvatura ventral da aza, accentuada na sua parte anterior a optima de Eiffel, na qual a relação  $\frac{\text{corda}}{\text{flecha}} = 13,5$  que o fluido ataca sem choque ao largar o rotor.

Ella se prolonga tangencialmente á curvatura, para se juntar na face dorsal sob um angulo muito agudo permitindo que se reunam as fatias fluidas dynamicamente exgottadas.

Talvez seja conveniente, tanto para se lograr a posição optima desta parte da aza, bem assim como para ajudar as manobras, no vôo e na descida, que ella seja movel a moda dos equilibradores de avião, mantida por

molhas na sua posição normal, mas variando esta á vontade do piloto, ou simplesmente construidas com nervuras elasticas.

Quanto á parede interna da aza, ella deve acompanhar a face do rotor á distancia pratica minima.

O conjunto "rotor-aza" tem uma largura de 6 r e, no interior da aza, a construcção moderna, com a maior facilidade colocará a viga triangulada — na forma do solido de igual resistencia, que supportará nos seus extremos os dois mancaes de esferas que correspondem ao eixo dos rotores, passando o mesmo por dois outros mancaes fixos ás varas principaes da "carlingue da aviette".

Experimentação previa — A verificação experimental das hypotheses que servem de base á forma do perfil em virgula pode ser feita no tunnel por meio de "maquettes" de 1 metro de comprimento com 0<sup>m</sup> 48 de largura, tendo o rotor 0<sup>m</sup> 16 de diametro.

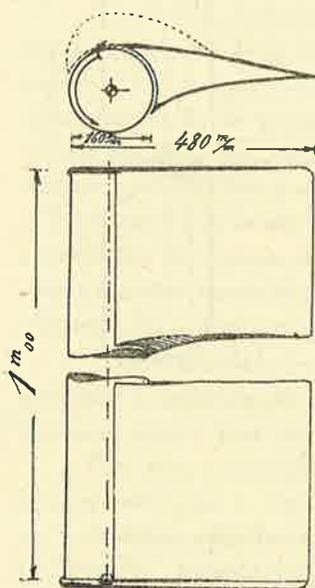


Fig.5 --- Maquette para ensaio

A figura 5 representa tal maquette com o perfil que indicamos, o qual poderá ser modificado de accordo com as indicações dos mesmos ensaios no tocante ao perfil da aza, á velocidade do rotor, á distancia que separa esta da aza, como tambem no relativo ao estado da superficie em giração.

Com tal fim, poderá ser utilizado o dispositivo adoptado pelos experimentadores do Luchtvaart de Amsterdam, nos seus estudos sobre a acção do cylindro rotativo como orgão activo de ataque ao fluido pelas azas de perfil grosso.

Admitamos que taes experiencias, além de valiosos dados aerodynamicos, confirmam a efficacia do dispositivo "rotor-aza de forma de virgula" e portanto a sua possivel applicação pratica.

Para essa favoravel eventualidade, vejamos qual deverá ser o apparelho simples que permita a primeira e util applicação do rotor-aza, sustentador e propulsor.

Uma "Aviette" que denominaremos "rotorette responde á estas condições.

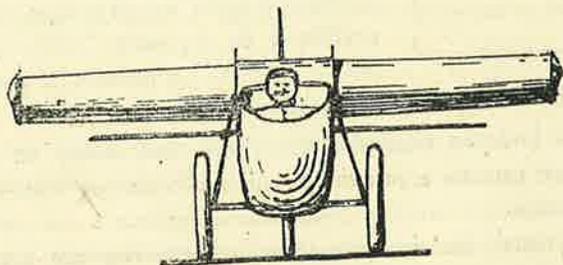
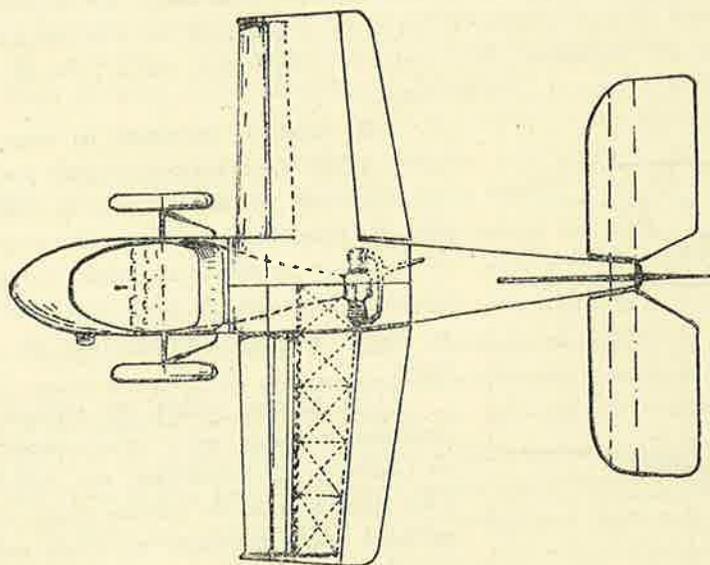
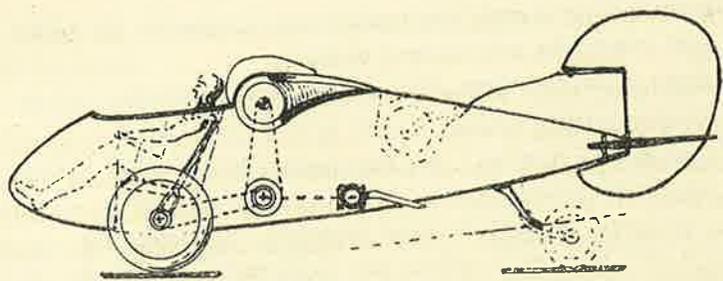


Fig. 6 --- A Rotocette

A "Rotorette"—É um "aviãozinho" monoplace, o qual, fazendo no ar o papel da motocicleta terrestre deve permittir e até certo ponto obrigar a voar baixo, e isto por duas razões principaes.

Em primeiro lugar, e como já o indicamos, o vôo a pouca altura é a condição do verdadeiro turismo aereo, deixando ver o panorama com as suas perspectivas, em vez de mostrar somente as projecções das bellezas naturaes e das obras humanas, como acontece com os aviões cuja segurança obriga voar alto e, por outra, porque acima de certa distancia do terreno, que corresponde no caso de parada do motor a aquella que podem os rotores, automaticamente libertados, percorrer com velocidade sufficiente para lograr uma aterragem segura, e sem choque violento.

Se o passeio aereo só se concebe em vôo baixo, este é tambem indicado para levantamentos topographiccs, serviços de policiamento rural, e a lucta contra pragas devastando culturas e mattas.

Na descida, obrigada ou não, pela redução da velocidade dos rotores, a direcção da força Magnus, passando progressivamente para a parte posterior, freia o apparelho e tral-o no terreno num espaço muito curto, circumstancia esta de maxima importancia para regiões accidentadas, ou em terrenos de pasto com capoeiras, tocos ou cercas invisiveis para aviadores descendo do alto, com a velocidade de seu vôo planado.

Além d'isso, sendo reduzidissima a potencia necessaria para manter a velocidade de regimen dos rotores, o apparelho se tornará economico até para transportes aereos desde que não pretende fazer mais de 70 até 80 kilometros hora, contra ventos de 10÷12 metros.

Particularidades — A acção sustentadora e propulsiva do rotor-aza presuppõe a existencia de um vento relativo, pois se não existir vento é necessario creal-o para incitar ou provocar aquella acção.

Para isto, o apparelho provido das rodas de aterragem, terá estas movidas pelo motor a vontade do piloto.

Aquellas rodas devem igualmente servir com uma terceira adoptada na "bequille" posterior, para facilitar o transporte do apparelho do logar de aterragem até a garage ou para qualquer percurso maior quando for preciso.

Esta terceira roda é semovivel e fica recolhida na "carlingue" para o vôo.

Característicos do apparelho — A figura 6 representa o que pode ser a "Rotorette" baseada nas hypothesis expostas. Ella é apenas a sua mais rudimentar applicação ficando como o apontamos, campo vastissimo e fecundo, para maiores adoptações ás necessidades da vida moderna.

Como resultados de calculos feitos a seu respeito, são as seguintes as suas possíveis características :

Envergadura	3 metros 70
Largura	4 metros 50
Altura	1 metro 50
Diametros dos rotores tronconicos	360 e 300 mm.
Comprimento dos mesmos	1 m. 40 q.
Superficie girando	2 m. q. 90
Superficie das azas	2 m. q. 30
Superficie total	5 m. q. 20
Peso total, em carga	320 kilos
Peso do combustivel	20 kilos
Carga util	105 kilos
Carga por m. q.	61 k <sup>os</sup> 500
Carga por metro corrido de rotor-aza	115 kilós
Potencia effectiva necessaria :	
para o vôo horizontal	$3 \div 3 \frac{1}{2}$ C. V.
para subidas a razão de 1 metro segundo :	$7 \div 8$ C. V.
Velocidades encaradas :	$50 \div 60$ km. hora

**Início do vôo** — Supponhamos o aparelho realizado. Dous casos podem se apresentar, conforme haja vento, ou ar completamente tranquillo. Tendo vento a rotonete o enfrenta e o piloto, brequando com o pé o eixo das rodas do trem de aterragem, espera que os rotores tenham alcançado ou mesmo passado a sua velocidade de regimen para então soltar-o, e, deixar o aparelho correr alguns metros, para elevar-se com a accleração do motor.

Mas se não houver vento sufficiente, é necessario creal-o para provocar a acção sustentadora dos rotores. Com tal fim, o piloto espera ainda que os rotores tenham alcançado a velocidade visinha daquella de partida, de largura ou de subida, para engatar o eixo das rodas de frente. A machina desliza alguns metros e obtendo assim o vento necessario, e sobe. Logrado este resultado, o piloto desengata as rodas e prosegue o vôo.

**A segurança** — E' relativamente facil, no estado actual da industria aeronautica, estabelecer e construir um aparelho mesmo melhorando as características indicadas, quanto ao peso e isto com as devidas condições de resistencia e estabilidade longitudinal, transversal e de rumo.

As velocidades encaradas não poderão comprometter ou prejudicar nem a segurança nem a duração da machina, sendo possível ao rotorista que, em altura, quizesse passar da zona considerada como segura, e subir mais alto, prover-se de um paraquedá para qualquer eventualidade.

A estabilidade transversal é automatica devido á posição do piloto e

do motor que abaixa o centro de gravidade o que, nas viragens, provoca a inclinação do aparelho devido a força centrífuga, mas logo fica restabelecida a posição normal pela própria acção dos rotores ou, eventualmente pela manobra dos equilibradores das azas. De facto, o rotor do interior da curva tendo a sua relação  $w$  augmentada com relação ao outro, a componente sustentadora cresce por aquelle lado enquanto fica diminuida do outro. No tocante á estabilidade longitudinal, ella resulta da acção do plano posterior o qual, sendo movel, permite regular o angulo de ataque da

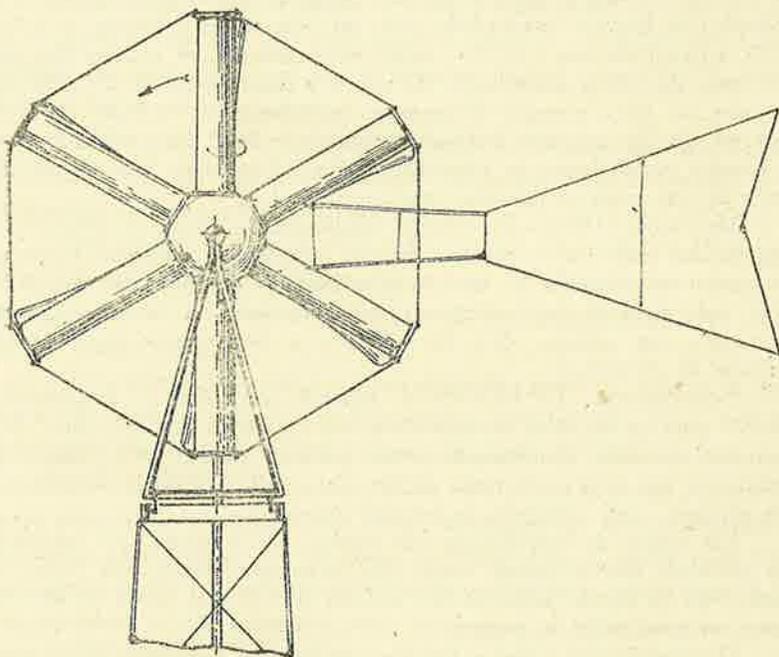


Fig. 7

aza se for necessario para subidas ou descidas, ou todavia para equilibrar a fraca differença que houver na posição do centro de gravidade, causada pelos pesos dos diversos pilotos ou dos accessorios que carregassem.

O aerorotor — A fig. 7 repressuta o moinho de vento provido de "rotor-azas" o qual, no caso de se confirmar as hypothesis encaradas para o projecto da rotorette, permite augurar uma optima utilização da força dos ventos, mesmo fraccs.

São Paulo, Junho de 1928.

Jean Michel