

Sys - 1897650

PRIMEIRO RELATORIO
DO
TRABALHO DE FORMATURA

"SISTEMA DE DRENAGEM PARA VARZEAS AGRICULTAVEIS"

Sylvio Jose Coelho de Souza

número USP 2004918/90

curso 03800

Professor Orientador

Gilmar Ferreira Batalha

MAIO DE 1992

1. INTRODUÇÃO

A idéia original para o equipamento acerca do qual versará este trabalho ocorreu durante uma visita a uma propriedade agrícola voltada à horticultura de folhas, no caso a alface, cujas características do terreno exigiam a retirada de uma camada superficial do solo, sendo que a depressão gerada era da ordem de um metro de profundidade. Então, aplicados os corretivos ao solo, o terreno exposto, dividido em ruas e quadros, entremeados por rasgos de drenagem, recebia o cultivar de horta, conforme mostrado nas vistas esquemáticas 1a e 1b, de modo que, ao submeter o terreno à ação da chuva, o excesso de água não absorvido de imediato pelo solo é conduzido pela declividade do terreno a acumular-se na região mais baixa do terreno, confinado que está pela periferia mais elevada. Em tal circunstância, o agricultor possui apenas três opções:

- a) reservar a parte mais deprimida do terreno para a inundação.
- b) retirar a água da depressão por algum meio mecânico.
- c) escavar um corte de drenagem entre o extremo inferior do terreno e a baixada inferior não agricultada mais próxima.

Tais soluções se caracterizam por ser seriamente influenciadas pela condição geológica e topográfica do terreno em questão e dos circunjacentes, o que faz com que a relação de custos para cada solução seja particular para cada caso.

2. OBJETIVO DO PROJETO

O tipo de equipamento que intenta-se desenvolver neste estudo visa atender às necessidades e condições que exigem drenagem por retirada mecânica da água, em situações de desnível de até 4 (quatro) metros, a uma vazão de 200 (duzentos) $m^3/h/ha$, em condições pluviométricas não torrenciais (até 20 mm/h).

3. MOTIVACAO DO ESTUDO

Por ocasião da referida visita, foi apresentada pelo agricultor a solução por ele adotada, que consistia em um par de tubos providos de hélices axiais longas de um fio, acionadas por motor elétrico e correia de secção trapezoidal (vista esquemática 3a). Porém, o nível de satisfação de suas necessidades (valor atribuível ao produto) mostrava-se baixo em relação ao preço pago pelo equipamento, mormente pela dificuldade de instalação e tamanho das fundações exigidas para a montagem do sistema bomba-transmissão-bomba.

Quando inquirido acerca do motivo de ter-se utilizado de tal método de recalque, apesar dos inconvenientes aqui citados, e de outros que serão detalhados posteriormente, respondeu apenas que aquele era o único equipamento industrializado que ele pudera encontrar no mercado, capaz de atender às suas necessidades.

Então, o preço da bomba pôde ser majorado pelo simples fato de ser mercado exclusivo. E a função da engenharia é, sempre, atender à necessidade individual ou social de modo ótimo, que oferece maiores vantagens para produtor e consumidores, sem permitir que essa relação se desequilibre de modo a favorecer uma ou outra parte envolvida, pois é notável que:

- Em situação em que ocorram vantagens maiores para consumidor que para o produtor, o produto tende a desaparecer, pelo simples fato de que o volume de vantagens (ganho) do interposto comercial torna-se superior ao do próprio produtor, e este tenderá a comercializar o produto similar (visto que a situação acima descrita só é possível em caso de competição aberta entre fabricantes em mercado coincidente ou concorrente), com uma relação de custos que lhe seja mais favorável.
- Em situação em que as vantagens para o produtor se tornam excessivas, como é notável na situação narrada em campo, o produto, e principalmente se for bem de produção, deixa de atender à sua finalidade social de propagar o progresso e o bem-estar a toda a população que é, direta ou indiretamente, envolvida no consumo do produto final de linha de produção, retraindo artificialmente os níveis de consumo.

- Em situação na qual os ganhos do produtor são, suficientes para prover a continuação do produto e uma margem de lucro justa e perfeitamente adequada à situação vigente, que lhe provenha conforto tão grande quanto seja ele efetivamente um elemento de propagação do conforto, e o preço pago pelo consumidor seja escolhido com liberdade no mercado em que os concorrentes competem com igualdade, é, sem sombra de dúvida, o que mais se aproxima de uma fraternidade digna e humana, que deve ser a aspiração de todo ser digno de ser chamado Homem, e mormente se tem ele o grande atributo de conhecer o *modus faciendi* dos produtos e serviços necessários à sociedade como um todo, isto é, de ser um Engenheiro.

Pelo ora exposto, nota-se que é necessário um produto que venha a suprir a necessidade do agricultor, a um preço tal que permita a um número maior de produtores rurais o acesso a essa técnica, tornando produtivos pedaços de chão que foram pro brejo, para a várzea inculta e, potencialmente, infectada por vetores de doenças endêmicas, tais quais os mosquitos da Malária e do Dengue, e o caramujo da Esquistossomose, a quem as baixadas inundadas normalmente abrigam.

Então-se vislumbra a profundidade das possibilidades de um produto novo, mais simples, barato e de menor capacidade que o atualmente encontrável, que permitiria de modo praticamente imediato a diminuição de custos de produção de vários produtos plantados de modo semelhante ao da supra citada alface, e também a uma talvez sensível melhora no nível da saúde pública de regiões agricultáveis distantes de áreas pantanosas extensas.

4. DESCRICAO DOS METODOS DE RECALQUE DE FLUIDOS

Ao longo dos séculos, muitos métodos de elevação de fluido foram criados, podendo ser eles utilizados para prover de água lugares elevados ou isentar do excesso de água posições baixas e/ou confinadas.

O primeiro dos métodos inventados é o do confinamento de água a um recipiente, sendo este então transportado. Tal método é, ainda, o mais comum. Ainda mais se pensarmos em quantas latas d'água jogamos para fora de um barco, ou quantos baldes de concreto se ergue por sobre a laje que se está calando.

Após esse, vieram muitos, entre os quais se destacam a Nora (esquema 4a), ou roda de baldes e o Timpano (4b), ou roda de calhas, sendo notável que essas soluções utilizavam sempre a força humana como agente motriz.

Com o aumento do domínio do pensamento mecânico e das técnicas de viabilização desse pensamento, surgiram evoluções do conceito de transporte de carga, o que denota o aparecimento das correntes de caçambas (4c), rodas de caçambas (4d), que eram acionadas pela força do vento ou de quedas d'água.

Porém, foi só com a constatação das propriedades básicas dos líquidos que os sistemas de recalque tiveram um poderoso impulso. A mais importante das propriedades de um fluido é a continuidade, que reza que toda a quantidade fluida que ingressa em um volume de controle é igual, em massa, ao que dele sai, somada à que fica no interior do mesmo. Tal constatação, ainda que puramente empírica, é a base da construção dos dutos (condutos forçados), que permitem a condução de um fluido por larga distâncias, sem a preocupação de orientar-se favoravelmente à gravidade, como era premente nos aquedutos abertos.

A outra propriedade que catapultou o Homem à categoria do Senhor da Terra foi a incompressibilidade e inexpandibilidade dos líquidos, que levou à invenção do Fole (4e) e da Seringa (4f). Com a evolução das técnicas de fabricação, surgiu a válvula de retenção, que tornou possível a manutenção da unidirecionalidade de um fluxo alternado, o que viabilizou a criação da Coluna de elevação (4g) e da

bomba de pistão com movimento alternativo (4h). O caráter alternativo do movimento foi tornado possível pelo advento da biela-manivela, sendo que a energia motriz ainda era a gerada por fenômenos físicos (vento, curso ou queda d'água) ou por força muscular (humana ou animal). Tais artefatos permitiram ao homem efetuar drenagens e recalques de maneira veloz pela primeira vez em sua História, levando a importantes vitórias sobre a natureza, como no caso da expansão territorial holandesa, conquistando palmo a palmo o solo do leito raso do mar.

Um novo conceito só foi incorporado após o aparecimento da investigação científica, vários séculos mais tarde, que levou ao estabelecimento das relações de transformação entre formas de energia, o que permitiu o desenvolvimento de sistemas que, através das relações entre velocidade e pressão, ou entre rotação e força centrífuga, permitem elevar as pressões de líquidos e gases, tais como as bombas centrífugas para líquidos (4i), os ventiladores ou, simplesmente, hélices (4j) e as hélices para líquidos (4k), que usam também o princípio da aderência completa, segundo o qual um fluido assume a velocidade, na interface, do corpo sólido com o qual mantenha contato.

5. CARACTERIZAÇÃO DAS ESPECIFICIDADES DA DRENAGEM

A drenagem de um terreno cultivado possui uma gama de características bastante peculiares, entre as quais, se destaquem:-

Suspensões: a água aluvional das enxurradas e áreas inundadas é rica em material suspenso. É notável que os cultivos que mais necessitam drenagem são os executados sobre subsolo argiloso de características de elevada compactabilidade e impermeabilidade. A argila é material silicoso microparticulado a nível de centésimo de milímetro, normalmente agregado por agente coloidais microbiológicos, o que justifica sua pulverização (pó) quando ressecada à temperatura ambiente. Logo, os ambientes que mais necessitam de drenagem são justamente aqueles que oferecem partículas suspensas extremamente coesas e com caráter fortemente abrasivo, ou seja, ter-se-á que drenar água mecanicamente agressiva.

- Sobrenadantes: o solo agricultável caracteriza-se primordialmente por ser um agregado de materiais diversos, densidades distintas. Boa parte do volume do solo cultivado superficial é constituído por adubo orgânico (esterco), que possui em sua composição fibra celulósica parcialmente digerida, que possui densidade muito baixa e dimensões da ordem de centímetros. Então faz-se necessário movimentar fluido com material particulado grosseiro, arrancado ao solo pela chuva e muito leve para ser decantado, o que pode gerar graves problemas de interferência em peças móveis expostos ao fluxo.

- Soluções: A base da agricultura é a atividade química do solo visto que a demanda de nutrientes hidrossolúveis e micro-nutrientes é bastante alta nos cultivos hortícolas que apresentam crescimento rápido e fácil de absorção de solutos pelas raízes. Então, é notável a utilização de Nitratos, Fosfatos, Sais de Potássio e Cálcio e compostos metálicos leves de Ferro, Zinco e Magnésio, entre outros. Esse material, muito solúvel em água, é bastante ativo quimicamente, apresentado teor de acidez elevado, que normalmente é contrabalanceado por anexação de calcário ao solo, por preparação do mesmo. Porém, na enxurrada, a maior solubilidade dos sais ácidos efetua a acidificação da enxurrada. Então a água a ser drenada do ambiente é bastante reativa a boa parte dos materiais de construção mecânica comuns. Isso

é facilmente notável quando se percebe a popularidade da expressão "Foi deixado ao tempo" para se referir a ferramentas metálicas deterioradas por corrosão, quando deixados em contato com o solo úmido.

É também importante notar que fluxos intensos de água junto ao solo podem arrancar partículas pesadas, tipicamente arenosas, de silicatos, bastante duros e de ângulos retos entre planos de clivagem. Essas partículas de rápida sedimentação, podem ser sugadas, com efeito de atividades mecânica semelhantes ao processo de jateamento com partículas abrasivas, usado para limpeza superficial de peças corroídas. Portanto, ao material já mecanicamente agressivo manipulado deve-se somar esse fator de atividade mecânica adicional.

De tal conjunto de características brota a necessidade de escolher com cautela os materiais que se deve expor ao fluido recalçável, bem como os movimentos que se pode permitir junto ao mesmo.

6. MODELAMENTO SISTEMICO DO METODO DE DRENAGEM

Entradas Desejáveis: Energia de Acionamento

Água com suspensões macro e microscópicas,
quimicamente ativa dentro de níveis
aceitáveis.

Saídas Desejáveis: Água transferida para lugar sem refluxo
Baixada seca

Entradas Indesejáveis: Impactos

Água com excesso de suspensão (lama)
Pedras, Folhas
Tromba d'água
Excesso de atividade química

Saídas Indesejáveis: Travamento

Desgaste Excessivo da Bomba
Refluxo de água drenada
Baixada inundada

7. CARACTERIZACAO DAS ESPECIFICACOES DO SISTEMA DE DRENAGEM

- A quem o produto visa atender?

O sistema de drenagem deve ser feito para atender às necessidades dos pequenos agricultores, que possuam áreas inundadas de solo agricultável.

- Quais as expectativas do consumidor?

Procedeu-se a uma breve pesquisa no Norte do Estado de São Paulo, em algumas cidades da região de Ribeirão Preto, que apontaram o seguinte:

⇒ O agricultor necessita de uma bomba: leve, compacta, facilmente instalável sem mão de obra especializada, cujo preço, instalada, não exceda 1/4 do lucro de uma safra (3 meses), que é, atualmente da ordem de, aproximadamente, Cr\$ 4.800.000/ha, que possua uma durabilidade de 500 horas de funcionamento, o que equivale a 200 utilizações de 2,5 h, o que estima uma durabilidade de 2,5 anos, o que lhe permite retirar 10 safras, pois, em terreno úmido drenado e sombreado, as hortaliças permitem, a colheita de quatro safras trimestrais ao ano. Que possua o mais baixo consumo possível, e não tenha peças móveis expostas. Uma solicitação bastante freqüente do público foi a de uma bomba capaz de drenar 200 m³/h, que é a intensidade de uma chuva média sobre um hectare, mas que fosse portátil por uma pessoa, e pudesse ser montada sobre cavaletes, para elevar a água de, no máximo, 4 metros, para ser utilizada para drenagens de emergência, no caso de chuvas torrenciais.

Por quanto tempo o produto deve ficar no mercado?

O público rural apresenta comportamento bastante fiel e conservador, o que significa uma vida de 20 anos para o projeto, se o mesmo for inicialmente aceito pelo mercado e prover sua eficiência e confiabilidade.

Qual a expectativa de vendas?

Existem, em estimativa grosseira, feita de acordo ao conhecimento prévio das características topográficas e pedológicas, e da distribuição fundiária do Estado de São Paulo, devem existir, pelo menos, 100.000 hectares de terra agricultável alagadiça, distribuídos em pelo menos, 50.000 propriedades, dos quais 50.000 podem ser drenados por valo de drenagem, e 20.000 por cacimba, o que nos dá uma perspectiva de necessidade de 50.000 bombas no interior do estado de São Paulo. Tal estimativa, supondo que se consiga uma penetração em 50% desse mercado potencial, têm-se um público para 25.000 bombas. Suposto que, por ser uma abertura em um mercado não existente, e com forte publicidade no meio rural, consiga-se atingir 10% desse público no primeiro ano, são 2500 bombas. Em se supondo esse índice constante até o décimo ano, teremos:

1.º ano:	2500	.....	= 2500	
2.º ano:	2500	.....	= 2500	
3.º ano:	2500	.....	= 3750	
4.º ano:	2500	2500	.....	= 5000
5.º ano:	2500	2500	.....	= 5000
6.º ano:	2500	2500	2500	..... = 7500
7.º ano:	2500	2500	2500	..... = 7500
8.º ano:	2500	2500	2500	..... = 8750
9.º ano:	2500	2500	2500	2500 = 10000
10.º ano:	2500	2500	2500	2500 = 10000
11.º ano:	****	2500	2500	2500 = 10000
12.º ano:	****	2500	2500	2500 = 10000
13.º ano:	****	2500	2500	2500 = 10000
		****	2500	2500 2500

a partir de
que o mercado
se estabiliza

8. SINTESE DE SOLUCOES JA EXISTENTES PARA O RECALCADOR

Função a Desempenhar	Alternativa A	B	C	D
Elemento Motriz	Motor Elétrico	Motor à Explosão		
Transmissão	Engrenagens	Corrente	Correia	Eixo
Elemento Recalcador	Pistão	Diafragma	Rotor Centrífugo	Hélice Axial
Captção de água	Tubo de PVC	Tubo de ferro	Mangueira Corrugada	Bocal na bomba
Transporte de água	||	||	Mangueira Flexível	
Conexão	Rosca de PVC	Rosca de ferro	Engate para Mangueira	Engate Rápido
Material do Recalcador	Aço	Nylon	Ferro Fundido	PVC
Material da Carcaça	||	||	||	||
Válvula de Retenção	Pino com mola	Pino	Esfera	Esfera com mola

GERACAO DE SOLUCOES

Devido à microabrasidade do meio, uma solução que incluía pistões se movendo dentro de camisa representaria uma escolha de materiais muito rigorosa, com materiais de elevada resistência à abrasão e tolerâncias de ajuste muito estreitas, o que a inviabilizaria.

Devido ao volume de água deslocado (55 l/s) que é imposto pela chuva, uma solução que envolvesse diafragma seria sobremaneira volumosa, o que a tornaria pouco portátil, e, portanto, não atenderia às expectativas dos consumidores consultados.

O rotor centrífugo apresenta características dinâmicas que oferecem ótima resposta para o recalque de fluídos viscosos, porém, por se fundido, exige materiais bastante nobres para poder

lidar com ambientes agressivos, o que encarece consideravelmente o produto.

Já o tubo de drenagem que inspirou todos estas considerações (esquema 4k) utiliza-se de hélice axial, que se mostra ser a solução de geometria menos "reativa" ao ambiente, o que permite a utilização de materiais menos nobres como o aço ao cromo de baixa liga. Porém, o seu formato helicoidal de um fio por volta é radialmente assimétrico, o que implica na existência de descompensação interna de peso, quando sob rotação, gerando vibrações internas e a necessidade de um eixo de larga dimensões, ainda que oco, para minimizar esse efeito, com o sacrifício da área efetiva de fluxo.

Da observação do comportamento dinâmico do rotor centrífugo e da suavidade de fluxo da hélice axial, surgiu a idéia de junção das características de ambos para um equipamento de drenagem de rotor helicoidal axial de dois fios simétricos sem eixo, entre pontas, que seria desenvolvido a partir de uma chapa retangular, retorcida a passo constante sobre o eixo longo de simetria, posto a rodar em camisa tubular, com entrada de fluido pelo centro do rotor, em uma extremidade, e a extração de alta pressão pela periferia do rotor, na outra extremidade.

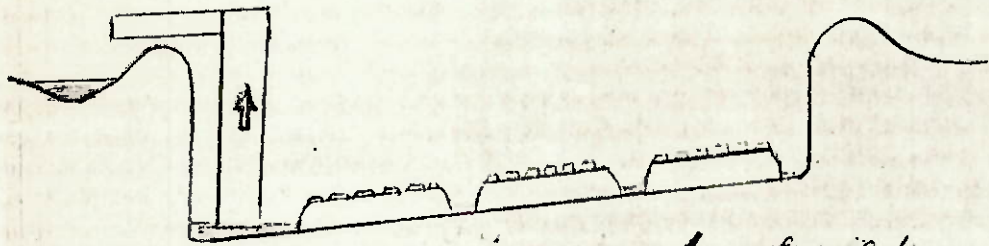
A partir da decisão de utilizar-se esse rotor experimental, para o equipamento que se pretende desenvolver neste trabalho, todas as outras decisões de escolha foram adequadas a essa alternativa de modo que a matriz se simplifica, e a escolha das alternativas restantes dar-se-á durante o projeto básico.

9. ESTUDO DA EXEQUIBILIDADE FISICA DO ROTOR DUPLO-HELICE

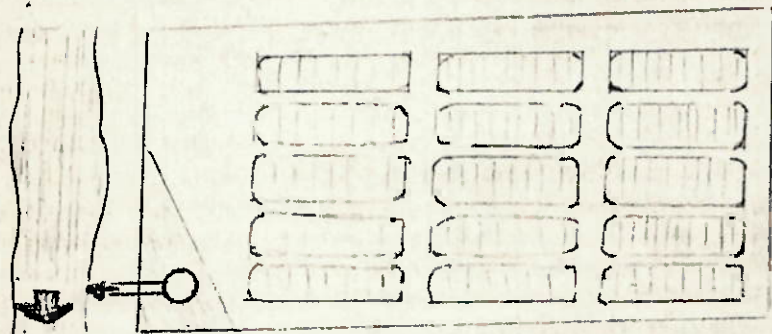
O rotor duplo hélice, conforme esquematizado em 9a, é o resultado da torção de uma chapa retangular ao redor do centro geométrico da sua menor secção transversal, o que pode ser feito:

- Por extrusão em metal leve, com o bocal de extrusão esculpido eletroerosivamente com ferramenta provida de avanço com giro simultâneo, o que só se justifica para larga produção.
- Por torção localizada, em uma tira contínua de aço aquecida por passagem de corrente entre as duas superfícies de cisalhamento do equipamento do esquema 9b, cujo projeto é o primeiro subproblema gerado neste projeto.

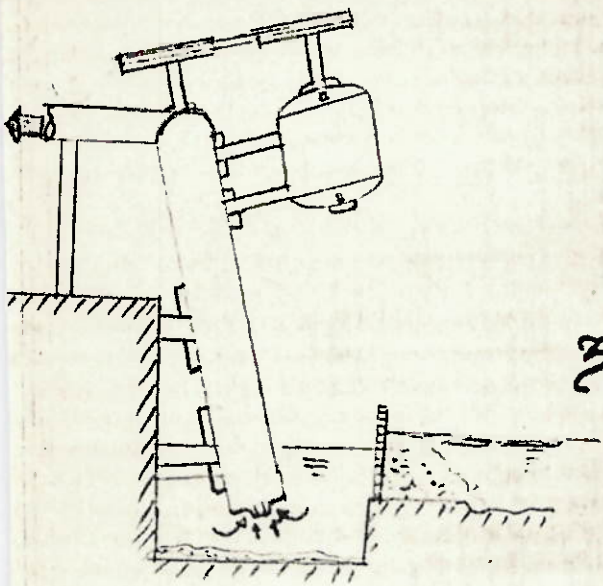
Vistas Esquemáticas



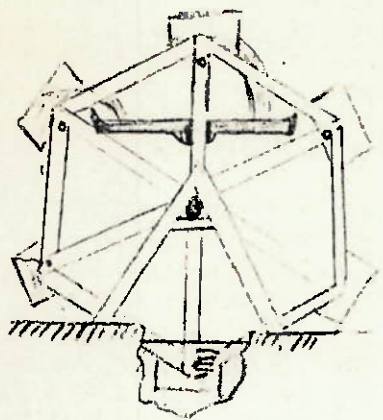
1a. Vista lateral do horta em declive



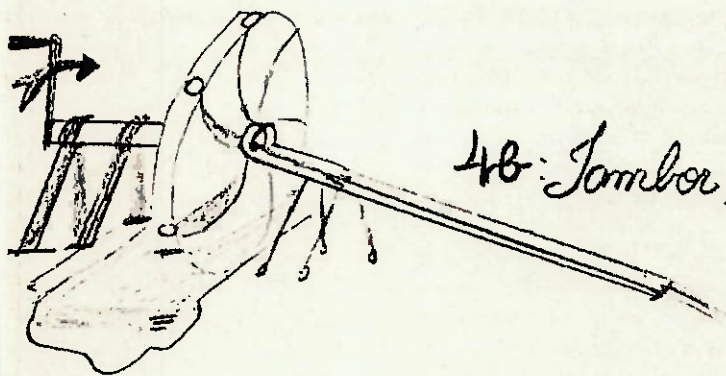
1b. Vista superior evidenciando a drenagem



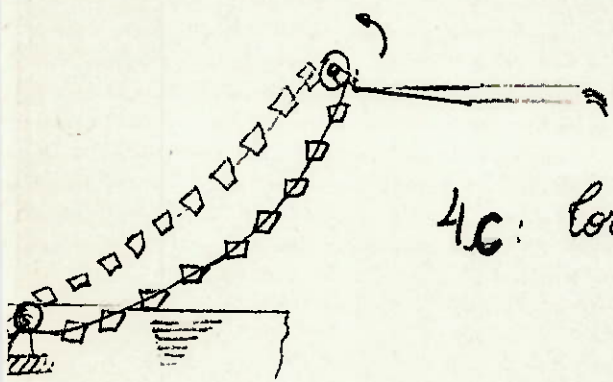
2a: Tubo de drenagem encanado em campo



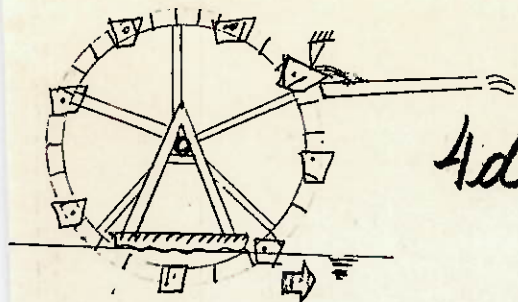
4a: Nora, ou roda elevadora de baldes, do rio
Nilo, com acionamento manual por torção.



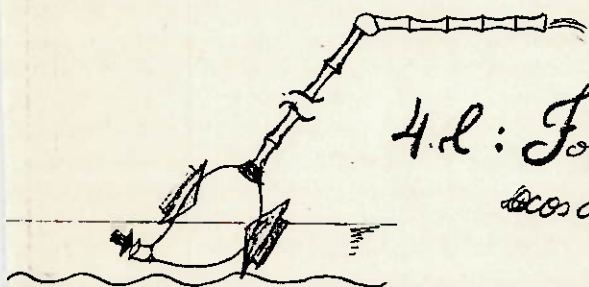
4b: Jombar, ou roda de calhas



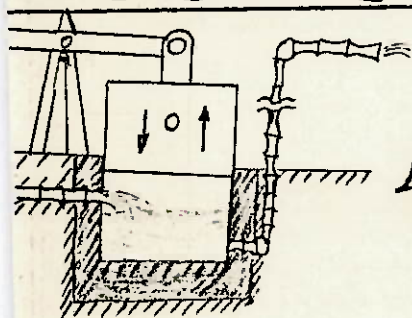
4c: corrente de caçambas



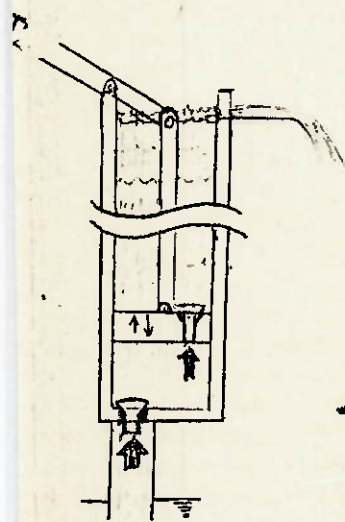
4d: Roda de Casambes acionada por curso d'água



4e: Sole, um saco de couro ao qual se ligam tubos de bambu, acionado manualmente

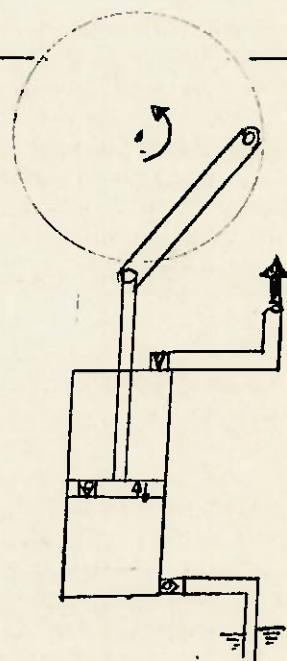


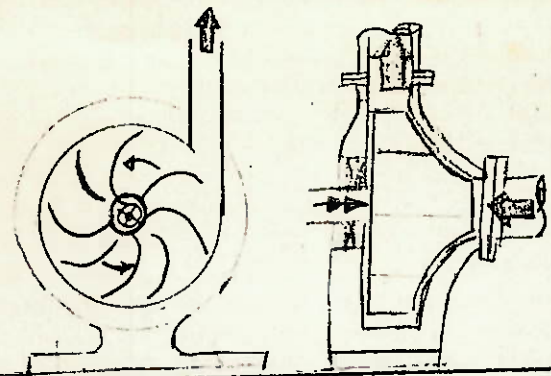
4f: Seringa, um pistão de madeira correndo em uma camisa esculpida artesanalmente, com um mínimo de folga



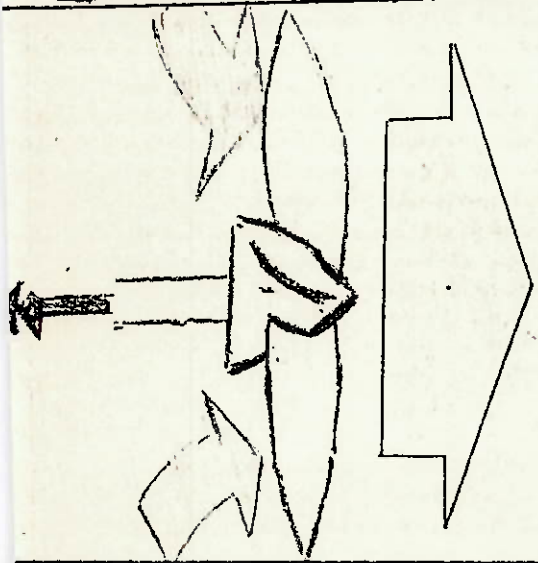
4g: Coluna de elevação, e

4h: Pistão alternativo

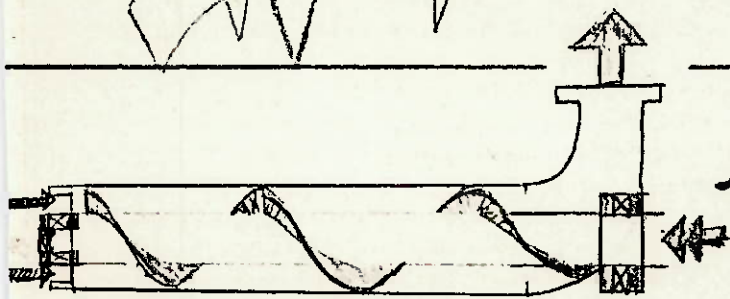




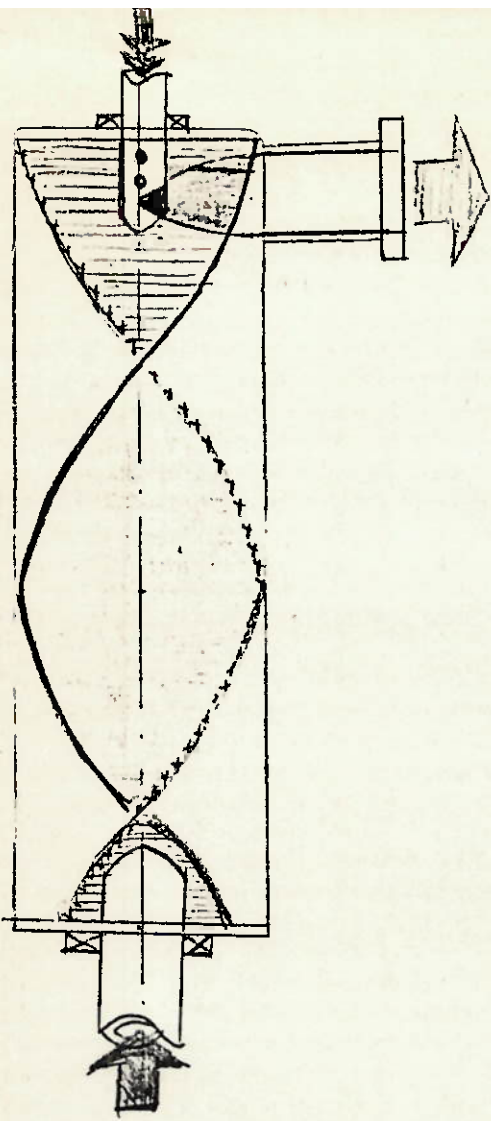
4i : Bomba
Centrífuga



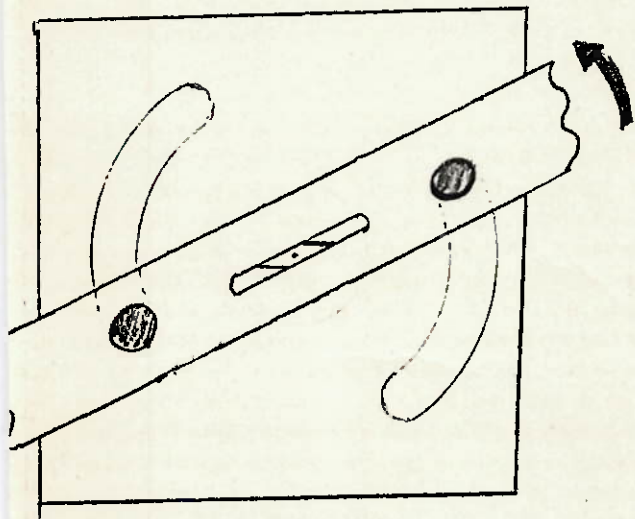
4j : Hélice para
Movimentação
de Gases



4k : Hélice axial para
Líquidos



9a: Primeira Concepção do
Roto Duplo-Hélice de
Admissão central e
Extração Lateral



9b.: Primeira Concepção
da Ferramenta de
Torção de Chapa.

Segundo Relatório
do
Trabalho de Formatura

"Sistema de Drenagem para Várzeas Agricultáveis"

Sylvio José Coelho de Souza

Número USP 2004918/90

Curso 03800

Professor Orientador

Gilmar Ferreira Batalha

JUNHO de 1992

1. Continuação do Estudo de Viabilidade Física do Rotor

Ao deparar o projeto do tubo de drenagem com a dificuldade da obtenção de uma chapa evoluída como hélice, iniciou-se pesquisa junto à bibliografia de Resistência de Materiais, o que, conjugado a informações obtidas junto ao Professor Fernando Nery, permite supor que a torção de uma chapa retangular entre pontas viabilize a obtenção de um eixo reto, o que é a principal requisição do rotor desejado.

Um comportamento notável da conformação plástica de metais por estiramento é a manutenção de uma linha neutra de cisalhamento. Em se provendo condições de tensão com distribuição simétrica, com geometria constante, ao redor da linha neutra, ao longo do comprimento, essa linha se mantém retilínea em caso de torção simples, ou com a assistência de esforço normal de tração, em que não aja, ou não se considere agir, carregamento perpendicular ao eixo.

O fenômeno descrito permite a admissão, a priori, de que uma chapa retangular evoluída por momento torçor entre extremos, mantém retilínea sua linha de simetria, desde que se preservem condições de isotropia ao longo do comprimento, característica essa provida pelo cuidado de se coincidir a direção da torção com a direção do estiramento de grão da chapa laminada.

A partir dessa pesquisa, chega-se à conclusão de que um dispositivo como o exposto na figura 1.1 deve prover a evolução do rotor duplo-hélice, com passo constante, sem perda do balanceamento e da retilineidade do eixo imaginário entre-pontas, quando montado em torno mecânico com cabeçote móvel submetido a atrito contra o barramento, de modo a prover a necessária força de estiramento, suficiente para efetuar a variação de comprimento nas abas de hélice.

2. Estudo do Comportamento Hidráulico do Hélice

Encontrou-se certa dificuldade em obter informações acerca do comportamento dinâmico de hélices de eixo longo, o que induz este trabalho a possuir caráter eminentemente experimental.

Da leitura das referências (1), (2) e (3), conclui-se que o caráter de turbilhonamento ciclônico imposto pelo rotor de parede contínua ao fluido confinado implica em certa perda de carga por aquecimento e recirculação de fluido junto à parede estacionária que guia o fluxo, impulsionado pelo efeito de rampa provido pela angulação do hélice com a velocidade tangencial de sua superfície.

Pode-se observar em turbinas que se utilizam de hélices de pás retas ou curvas, que o efeito de turbilhonamento é eficientemente evitado pelo uso de conjuntos de pás diretoras de fluxo, que forçam-no a seguir axialmente ao longo dos vários conjuntos de pás de hélice. Essa observação induz à conclusão da necessidade de um condicionamento do fluxo com o uso de pás diretoras, que possuem como principal característica, no caso da bomba, transformar energia cinética do turbilhão em energia de pressão, com o redirecionamento da velocidade no sentido do eixo de deslocamento do fluxo.

Porém, neste trabalho, desejamos apenas operar a caracterização, ainda que parcial, do comportamento do rotor de chapa torcida, isoladamente, confrontado apenas por suas características geométricas e dinâmicas, tais como diâmetro, comprimento, espessura, passo de hélice, inclinação junto à parede da camisa, rotação, et coetera. Devido a tal necessidade, será deixado para um trabalho posterior a utilização de direcionadores de fluxo, limitado este trabalho à utilização de camisas cilíndricas lisas.

O rotor em questão possui caráter ambivalente, havendo dois fenômenos distintos e de importância equiparável, envolvidos no processo de recalque, a saber:

-Efeito de Parafuso de Arquimedes, que é caracterizado pelo deslocamento de uma câmara contínua por sobre uma parede fixa. O fenômeno é facilmente compreensível ao imaginar-se um parafuso fixo, ao redor do qual gira, com pouca folga, uma camisa cilíndrica. Um fluido confinado entre o parafuso e a camisa tende, respeitando o Princípio da Aderência Completa, a acompanhar a movimentação da camisa, sendo, então, arrastado por sobre o hélice do parafuso, seguindo, conseqüentemente, o sentido do passo do mesmo. Por esse efeito, o fluido, considerada a camisa estacionária, adquire velocidade contrária ao sentido de progresso do parafuso, que gira no interior. Dessa maneira, um torque aplicado ao eixo do parafuso divide-se em uma força que deforma o elemento fluido confinado entre hélice e camisa, no sentido radial ao eixo do parafuso, e em uma força que impulsiona o elemento fluido por sobre a cavidade helicoidal. Esse é o caráter exclusivo utilizado nos atuais tubos de drenagem, que possuem extração axial do fluido recalcado. Apesar de ser equipamento já desenvolvido pela experiência, não foi encontrada bibliografia específica a respeito do comportamento desse tipo de rotor, que, na sua concepção atual, possui apenas um fio de rosca e eixo espesso e oco, bem como admissão radial, o que o distingue profundamente da atual concepção.

-Efeito Centrífugo, que consiste em induzir rotação a u' a massa fluida, confinada a uma carcaça circular ou em caracol. Essa rotação, desprezado o campo gravitacional, obedece à relação :

$$A = - \text{grad } P$$

Onde a única aceleração relevante é a centrípeta, que respeita a fórmula :

$$dM \cdot A = dM \cdot V^2 / r \quad (-r)$$

para o elemento de massa dM . Para o movimento turbilhonar sem nascedouros ou sorvedouros, plano, que representa com certa precisão a componente tangencial da velocidade do elemento de massa, temos:

$$V = \omega \cdot r, \text{ de modo que}$$

$$A = \omega^2 \cdot r \quad (-r)$$

Dessa maneira, observamos que a pressão cresce quadraticamente com o raio, e quadráticamente com a velocidade angular ω do rotor, em se desprezando efeitos de sustentação (perfil hidrodinâmico) do rotor. No caso de um rotor de pás não-encurvadas, como é o caso do rotor de chapa torcida, que não possui curvatura perpendicularmente ao raio, em um plano radial do hélice. Como a pressão da superfície exposta ao ambiente é a pressão atmosférica, isso gera no centro do rotor região de depressão, e periféricamente a velocidade tangencial fornece pressão à tubulação de extração, que se dispõe tangencialmente à carcaça. Portanto, quando se fornece admissão no centro do rotor, tem-se a sucção do fluido, que está à pressão atmosférica, a menos de uma pequena perda de carga de admissão, e a pressão na periferia é majorada pela rotação do rotor. Esse é o efeito principal utilizado nas bombas centrífugas de recalque, aliado a um efeito de sustentação reversa das pás encurvadas, que tenderia a cisalhar as pás de rotor no sentido de empurrá-las para o centro, e, como são fixas ao disco do rotor, elas empurram o fluido contra a carcaça, provendo pressão adicional. Porém, por limitações de processo de fabricação, esse efeito não será explorado.

3. Fabricação de Modelos Funcionais

Como já se fez notar na análise funcional do rotor, o mesmo possui um comportamento cujo modelamento implica na necessidade de se possuir condições de contorno conhecidas, e, pela ausência de bibliografia hábil a fornecê-las, as mesmas devem ser obtidas por via experimental, de maneira tal que a variação dos parâmetros característicos seja conhecida, e seu reflexo na operação da bomba possa ser mensurada através de ensaios em bancada hidráulica. Essa necessidade conduz a uma segmentação do trabalho de geração de modelos funcionais (protótipos), atendendo à variação, por , pelo menos, três pontos, do parâmetro geométrico de passo relativo (inclinação de filete) do hélice, e do parâmetro dinâmico de rotação.

Tais requisições podem ser atendidas através da confecção de três rotores, de mesmo diâmetro virtual, porém com passos de hélice distintos, além de um rotor em chapa plana, para permitir a averiguação da influência do caráter centrífugo puro, e o torque requerido pelo efeito de recirculação de fluido na câmara rotativa. A rotação pode ser variada com a adoção de um sistema de transmissão por correia e polias trapezoidais, montadas sobre mesmo eixo.

Não sendo possível estimar à priori qual a potência requerida pelo aparato experimental, o mesmo será projetado com dimensões modestas, e um motor de potência obviamente excessiva, de modo que, da leitura dos resultados obtidos experimentalmente, possa-se obter estimativa da potência efetivamente transferida ao fluido, e, dessa maneira, obter um resultado razoável para a requisição de potência no eixo de entrada do rotor.

4. Ensaio de Modelos Funcionais

Obtidos os modelos funcionais, o levantamento de suas características hidráulicas far-se-á de acordo ao seguinte método experimental:

1) Acoplamento do motor

O motor será montado sobre a estrutura (carcaça) do tubo de drenagem, e, com correia de comprimento adequado, acoplam-se as polias na relação que se deseja ensaiar, de acordo à figura 4.1.

2) Montagem da tubulação de saída

Ao acoplamento do bloco superior aplica-se um tubo de PVC, no qual montou-se um manômetro e um registro de gaveta, de forma a permitir variação na perda de carga na saída da bomba, e a leitura da pressão na mesma, de acordo à figura 4.2.

3) Montagem do Medidor de vazão

A tubulação de saída da bomba será aplicada a um receptáculo de dimensões conhecidas, de modo que o volume de fluido recalcado durante um tempo cronometrado pode ser calculado pela profundidade da camada fluida obtida, e a vazão, com tais dados, é facilmente calculada. Tal aparato é representado na figura 4.3.

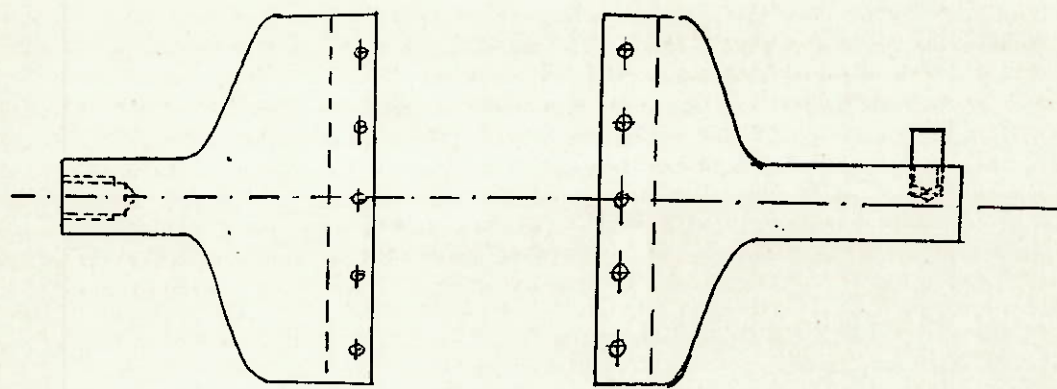
4) Troca de Rotores

O rotor duplo-hélice, neste aparato, é montado de modo tal que a força de recalque é exclusivamente suportada pelo mancal da ponta de eixo aonde se dá a entrada de torque, sendo esse mancal de rolamento radial de esferas, aplicado solidamente ao bloco que suporta a tubulação de saída e a camisa, de acordo à figura 4.4. O mancal oposto, por servir apenas para a manutenção da concentricidade entre a camisa e o rotor, é eficientemente suportado por gaxeta de cordel grafitado, sem a necessidade de qualquer elemento (ressalto, entalhe ou anel elástico) aplicado ao semi-eixo oco, que serve de tubulação de sucção central para o rotor, de acordo à figura 4.5. Com esse esquema de montagem, para intercambiar os rotores de diferente angulação de hélice, basta desroscar a camisa ao bloco superior, retirando-a com o mancal dianteiro, e, através da retirada do parafuso de fixação do conjunto de polias, retira-se esse conjunto, franqueando o acesso à porca de sujeição da pista interior do rolamento. Com isso, libera-se a ponta de eixo do rotor, após o que ele pode ser retirado. O procedimento inverso permite montar o novo rotor, com o cuidado de prover vedação entre a camisa e o bloco superior, com o uso de fita de PVC ou de Teflon, própria para tubulações. A simplicidade do procedimento é essencial à agilidade requerida aos ensaios.

5. Considerações Finais

A esta altura, é necessário ressaltar que os protótipos visam apenas a caracterização dinâmica do comportamento da bomba com fluido não-ativo mecanicamente (água), sendo os mesmos inábeis a suportar as requisições de resistência à abrasão e atividade química necessárias para a operação em drenagem.

Através dos dados obtidos experimentalmente, e com a seleção criteriosa dos materiais empregados, poder-se-á, finalmente, obter as características necessárias à especificação dos componentes, e seu projeto executivo.



Excitador fixo ao
cabeçote móvel

Excitador fixo à
Placa Rotativa

Figura 1.1

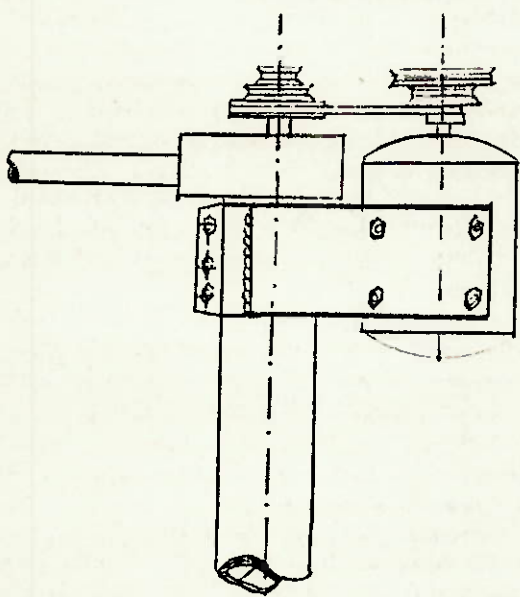
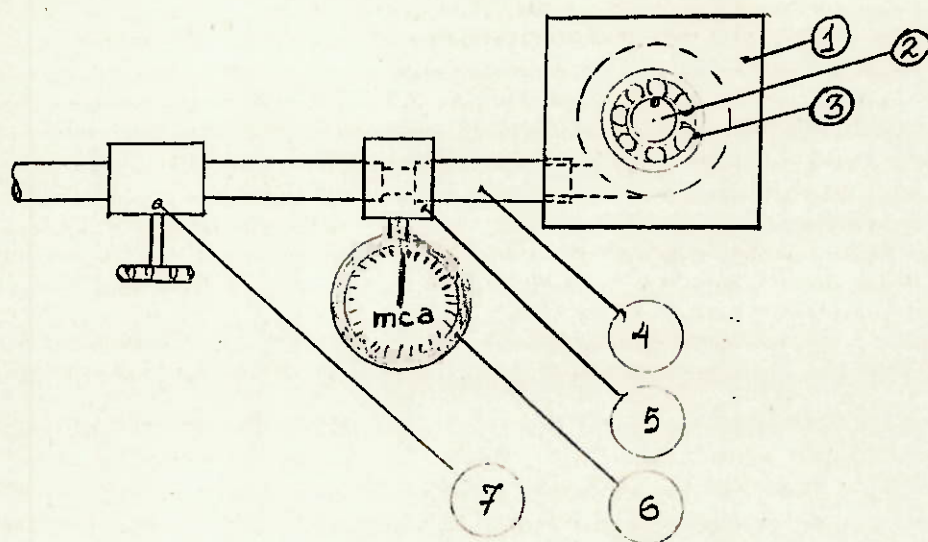


Figura 4.1



- 1- Parte Superior
- 2- Eixo Trocuro
- 3- Rolamento
- 4- Tubo do Saído
- 5- Conexão
- 6- Manômetro
- 7- Válvula

Figura 4.2

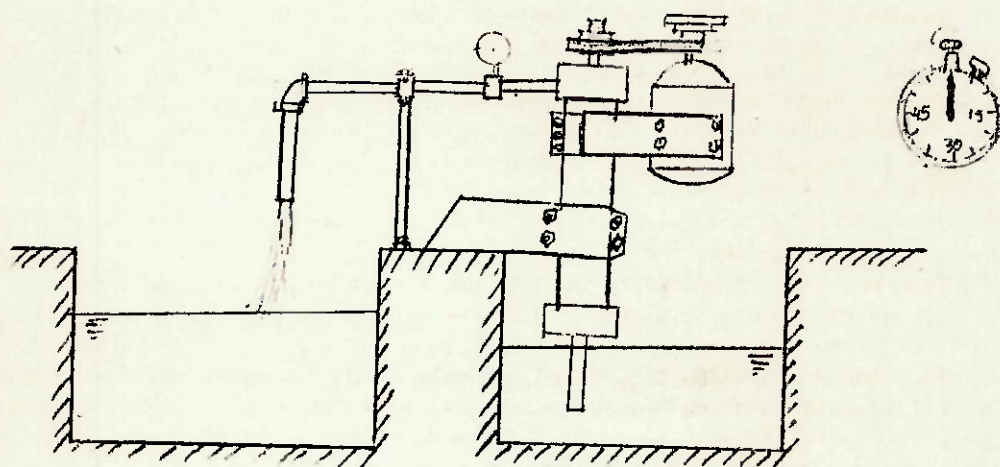


Figura 4.3

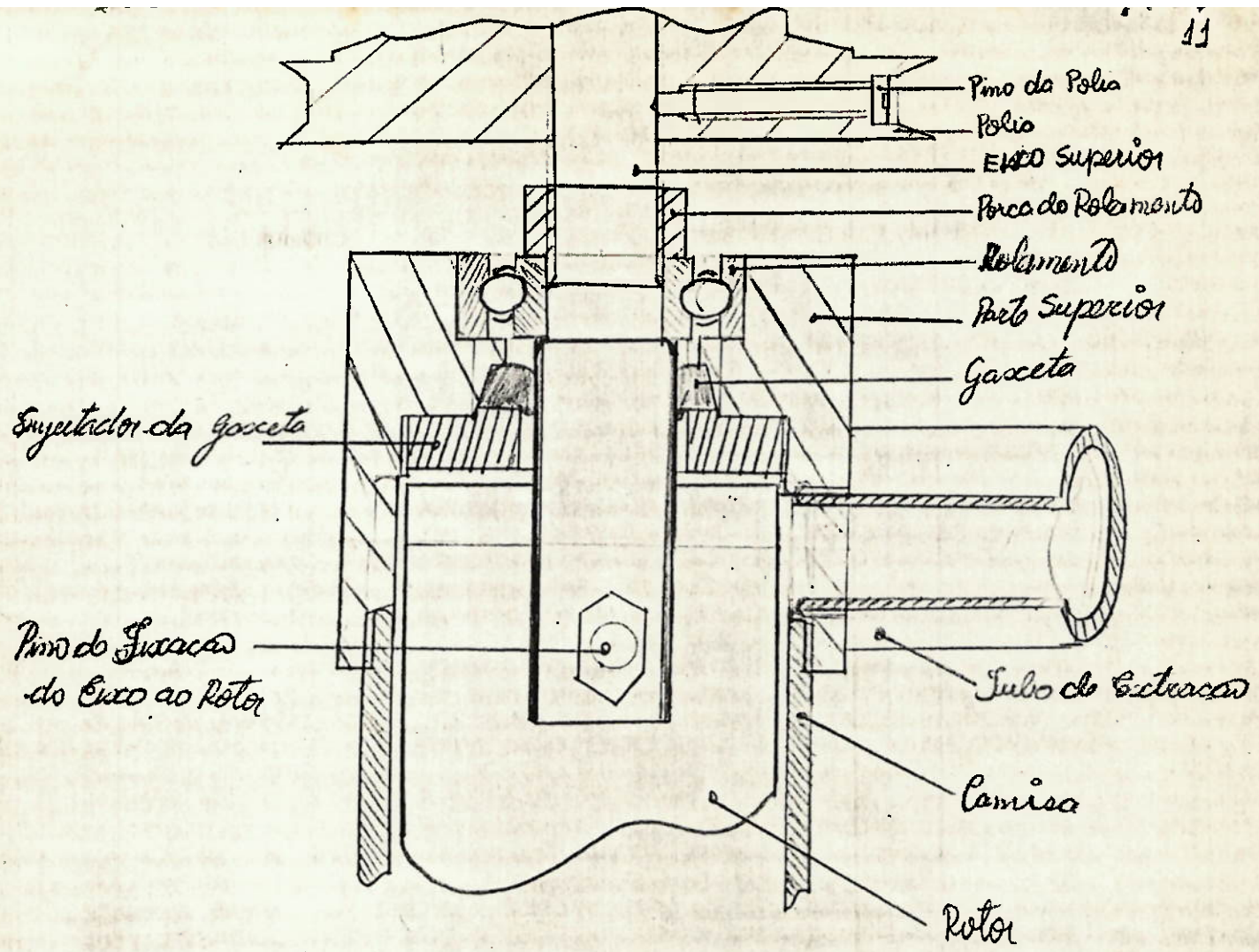


Figura 4.4

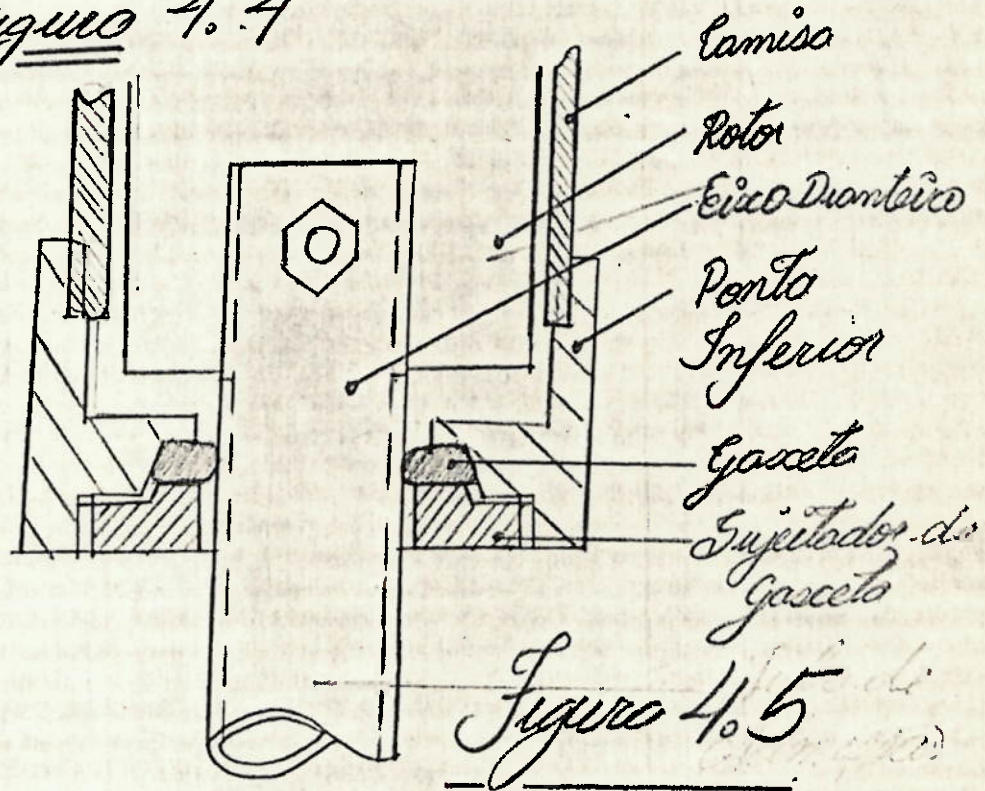


Figura 4.5

RELATÓRIO FINAL DO PROJETO DE FORMATURA

"SISTEMA DE DRENAGEM PARA VÁRZEAS AGRICULTÁVEIS"

Sylvio José Coelho de Souza n.USP 2004918

Professor Orientador: Gilmar Ferreira Batalha

São Paulo, dezembro de 1992

Introdução

O Projeto Mecânico II (PMC581) desenvolvido no segundo semestre de 1992, pelo aluno, versa sobre a viabilização física do sistema recalculator proposto pelo mesmo no Projeto Mecânico I, no primeiro semestre de 1992, cujas características de simplicidade e leveza podem ser atestadas ao longo do trabalho.

tal sistema, doravante tratado por "bomba de rotor helicoidal", visa aproveitar de maneira satisfatória o caráter ambivalente de um fluido escoando em turbilhão no interior de uma camisa cilíndrica, comportamento esse caracterizável como centrífugo, bem como de movimento axial, no contato com superfícies diretoras inclinadas.

O presente texto objetiva descrever o processo de obtenção do rotor, bem como as alternativas técnicas passíveis de execução em um trabalho deste pequeno calibre, no sentido de materializar um protótipo de fácil execução, porém representativo dos princípios envolvidos nesse método de movimentação de fluidos agressivos.

Objetivo do Trabalho

Existem duas grandes vertentes no desenvolvimento tecnológico, que podem ser cobertas em um trabalho de graduação. A primeira, normalmente a mais percorrida, é a do aperfeiçoamento de métodos e dispositivos já existentes, através do estudo localizado de tópicos específicos de uma matéria, mormente se inseridos dentro do contexto de um trabalho mais abrangente, desenvolvido por um professor e um grupo de seus alunos orientados. A essa vertente devemos a sistematização do conhecimento, a particularização de sua aplicabilidade e o domínio, no caso de ciência exata, dos modelos matemáticos envolvidos no funcionamento de fenômenos observados em laboratório e na natureza. Já a segunda vertente do desenvolvimento tecnológico consiste na inferência da existência de novos fenômenos a partir dos previamente observados. No âmbito das ciências físicas, sob seu aspecto macroscópico, tal inferência, fruto da extrapolação mental dos que convivem e observam cotidianamente os fenômenos originais, existe a exigência de comprovação experimental do fato intuído, antes mesmo de ele ser modelado e compreendido satisfatoriamente. Estas desvaliosas páginas pretendem ser o início da observação em conjunto de dois fenômenos, via de regra tratados separadamente, envolvidos na movimentação de fluidos.

Faz-se mister observar que o terreno de qualquer desenvolvimento de um conhecimento a partir de sua constatação primeira é bastante árido, pela ausência ou pobre aplicabilidade de modelos previamente desenvolvidos, devendo o conhecimento ser calcado a partir da experiência acumulada, esta sim fornecendo a base para os modelamentos matemáticos e físicos posteriores.

Dentro desta segunda vertente, que pode ser classificada como indutiva e experimentalista, este trabalho de graduação visa, a partir da concepção de um rotor misto axial-centrífugo para o recalque de fluidos pouco viscosos e bastante agressivos (no caso, lama de drenagem agrícola), testar um método de obtenção de tal rotor, pautado na simplicidade operacional, e, em se mostrando satisfatório tal método, efetuar a construção de um protótipo hábil a ensaios quantitativos, possibilitando a caracterização do comportamento do dispositivo, e seu modelamento, quando, porventura, se possa fazê-lo, pois que se encontra fora do alcance deste projeto, por severas limitações operacionais, inclusive alheias ao projeto em si.

PARTE I - EXPERIMENTOS DE ROTOR

1-Do Método Empregado

Ao se desejar efetuar um hélice longo, partindo de uma chapa plana e de espessura constante, a concepção mais simples, dentre as discutidas no primeiro trabalho, é a da torção a frio, da chapa colocada entre mordentes, dos quais um é fixo, e o outro rotativo. Outros métodos aventados exigiriam investimento em máquinas de conformação plástica, sendo inexeqüíveis dentro dos recursos e prazos disponíveis, sendo, porém, interessantes para posterior implantação industrial.

2-Das Primeiras Experiências

Uma primeira tentativa de efetuar o hélice pelo método ora exposto mostrou-se bem sucedida, se bem que fosse puramente empírica, sem o estudo de um modelo para os esforços envolvidos na placa submetida a tração diferenciada entre o centro de rotação e a periferia da chapa. Porém, tal sucesso relativo ocorreu em chapas de 1mm de espessura X ... 25.4mm de largura X 300 mm de comprimento, obtendo-se corpos-de-prova com ângulo de hélice de, aproximadamente, 60 graus. Ao se tentar exceder essa inclinação de borda periférica, o processo mostrou-se instável, levando ao súbito estreitamento do raio de curvatura de uma seção transversal genérica, ora em um extremo, ora em outro, em relação aos mordentes, sem posição preferencial aparente.

Uma segunda tentativa, utilizando mordentes planos mais largos, aplicados a uma chapa de menor relação entre espessura e largura mostrou-se infrutífera, com o corpo-de-prova apresentando vincos de dobramento a 45 graus de inclinação em relação ao eixo central de rotação, sendo que corpos-de-prova de mesmas dimensões apresentaram aspecto muito semelhante, sendo o fenômeno facilmente reproduzível,

evidenciando uma relação crítica de flambagem entre a espessura e a largura da chapa sob esforço de torção. Tal relação mostra uma grave limitação do processo empregado, exigindo chapas de espessura considerável, no intuito de obter-se angulação de hélice hidraulicamente aproveitável.

Considerado esse fator limitante, o hélice a ser fabricado para o protótipo teve sua largura limitada a 60mm, e uma terceira tentativa, efetuada com chapas de alumínio, de secção transversal 58x2 mm também seguiu triste destino, flambando a 45 graus, tal qual as finas chapas de aço dessa mesma largura.

Intencionando-se desistir de tal processo, e partir para a usinagem em material plástico via torno-CNC, foi conseguida uma chapa de aço baixo-carbono, de espessura 2.5mm, sobre a qual, em última tentativa, decidiu-se tentar o processo de torção, em uma peça de 58mm de largura, e, pelo grande torque envolvido, optou-se por montar os sujeitadores na placa e no castelo móvel com agarrador do torno IMOR da oficina da Engenharia Mecânica. Feito isto, acoplou-se a transmissão de rotação menor (80 rpm), e iniciou-se manualmente a torção, para verificar a estabilidade da chapa. Ao se verificar um comportamento uniforme ao longo de toda a chapa, acionou-se o motor até o momento em que a linha de centro traçada começasse a fletir. Tal procedimento permitiu a consecução de um hélice de inclinação pouco superior a 60 graus, já viável para aplicações hidráulicas. Nesse ponto, encerra-se essa etapa do trabalho, podendo-se dar continuidade às operações de quantificação do comportamento do rotor assim obtido, ao ser submetido à rotação em um fluido confinado.

3-Da Montagem de um Rotor Completo

Com a chapa torcida como descrito, efetuou-se o conjunto de operações de desbaste necessária para fazer desaparecerem as pontas perfuradas da chapa, adequando uma extremidade a receber a bucha centralizadora, que trabalha à guiza de bocal de admissão e de ponta de eixo, simultaneamente, e a outra extremidade a receber a porca de acoplamento ao eixo do motor.

O rotor efetuado como ora descrito, já foi feito dentro de um determinado espírito de simplificação do protótipo.

PARTE II - MONTAGEM DO PROTÓTIPO

1-Do Material Empregado

Quando da análise do porte necessário para um protótipo suficientemente portátil, mas, mesmo assim, de fácil execução física, mostrou-se inspiradora a observação dos produtos eletroportáteis, destinados a lidar com fluidos, que podem ser vistos cotidianamente nos lares mais comuns. Em particular, o problema da transmissão de potência mecânica de um ambiente seco para outro, inundado, é muito bem resolvido nos liquidificadores domésticos, que possuem um eixo de metal liso, operando com pequena folga em uma camisa, também de metal, tendo, na extremidade seca, uma variação de seção transversal, perpendicular a seu eixo de rotação. Esse ressalto gira contra uma fina arruela de material composto, e, na outra extremidade do eixo, que é roscada, rosqueia-se o conjunto de facas girantes, que operam contra o fluido, sendo que a face inferior do conjunto gira contra outra arruela do mesmo composto, com baixo atrito, e vedação provida pela pressão de aperto das facas, limitada por uma arruela de metal, que impede a porca

das facas de avacar em excesso, o que poderia ser ocasionado por impactos, tão freqüentes quando se mói gelo ou outros quitutes mais duros no copo do liqüidificador. Possuindo um liqüidificador de rotação continuamente variável, observou-se a conveniência de utilizar esse conjunto motor + base de copo na montagem do protótipo, facilitando ao extremo o projeto e a execução do citado modelo funcional.

Em decorrência das modestas dimensões de tal unidade motriz, procurou-se adequar as demais dimensões do modelo a estas, e aos materiais disponíveis na ocasião, chegando-se à utilidade de se usar como camisa de bomba um tubo de plástico translúcido, vulgarmente utilizado para acondicionar shampoo, e este limitando as dimensões do rotor. Para se obter o acoplamento entre camisa e base, usinou-se uma luva em madeira, cujo comprimento foi determinado de modo a permitir o alojamento e instalação de um tubo de extração tangencial de uma polegada, de forma a permitir mínima perda de carga na saída da bomba assim obtida.

Uma vez escolhidos esses materiais, dentre a sucata disponível, montou-se o conjunto da camisa, porém, por inadequação do tipo de madeira disponível, a luva rompeu-se a partir do furo de inserção do extrator, resultando na necessidade de utilizar material de maior resistência mecânica, recaindo a escolha sobre o PVC, obtido dentre o material do laboratório de mecatrônica, pelo qual fica registrado o reconhecimento.

2-Do Método de Montagem

Uma vez montada a carcaça da bomba, constituída por eixo de ponta sextavada + base de acoplamento + disco de mancal + anel de vedação + luva de PVC com extração tangencial + camisa inteiriça com mancal dianteiro, o rotor foi cortado e conformado, recebendo uma bucha dianteira, em PVC, ajustada ao mancal com o uso de fita de Teflon, de baixo atrito, e uma porca traseira, onde se acopla a ponta de eixo motriz por interferência.

O subconjunto eixo+disco de mancal+rotor, uma vez montado, define as características de coaxialidade entre as pontas de eixo dianteira e traseira, bem como de balanceamento do conjunto rodante. Pelo fato de a ponta de eixo traseira ser montada por interferência contra uma rosca interna, tornou-se possível certo nível de ajuste entre o desbalanceamento devido a discrepâncias em relação à linha central, na usinagem, e a própria não retilineidade dessa mesma linha, decorrente de limitações do tempo de resposta do torno (que não possui freio). Com tal ajuste, obtem-se um nível aceitável de vibração, equiparável à operação normal de um liquidificador como o que se usou, de vinte anos de uso.

Durante a operação a plena carga, o adesivo usado entre a camisa e a luva revelou-se ineficiente, sendo necessário uní-los com o uso de tirantes, oriundos da base, e circundando o bocal de admissão, feitos de cabos flexíveis de cobre encapados (fio paralelo).

PARTE III - OPERAÇÃO DO PROTÓTIPO

1-Do Objetivo da Operação

É intenção caracterizar os parâmetros básicos do protótipo, em vários regimes de rotação, sendo eles a pressão de estrangulamento (" shut-off "), e o rendimento para uma dada vazão, para cada rotação, bem como o levantamento de trechos das curvas características de vazão x pressão para as potências mais elevadas.

2-Do Método Utilizado

É aplicada à saída da bomba uma derivação, portando uma coluna de água vertical, de 1800 mm, em tubo flexível transparente, graduado em centímetros. No ramo direto, aplica-se uma válvula do tipo torneira, sendo todo o conjunto bomba-motor-coluna-válvula fixado a um suporte rígido de madeira. Tal aparato, portátil apesar da grande coluna de água, é posicionado dentro de uma pia, com a ponta do rotor afogada, e a saída para outra pia, com marcações de volume. A admissão da bomba é mantida a uma profundidade aproximadamente constante, com o auxílio da torneira que serve a essa pia, regulada em vazão aproximadamente igual à da saída da bomba, profundidade essa de 100 mm, sendo essa uma condição sine qua non para a reprodutibilidade dos experimentos.

A rotação de shut-off com o motor fornecendo sua potência máxima foi medida com o uso de um tacômetro TAKO, gentilmente cedido pelo laboratório de máquinas térmicas, fornecendo, em média de 5 medidas, 1753 rpm, e a essa rotação serão relatados todos os valores fracionários oferecidos pela escala de variação de rotação do motor, sendo, então suposta ser uma escala de variação linear.

A potência nominal do motor utilizado é de 200 W, e é suposto que o torque seja mantido aproximadamente constante, de modo que essa linearidade será estendida, também, para a potência no motor.

A esta altura, é importante ressaltar uma dificuldade na execução de ensaios com o dispositivo ora pronto, que é o regime de utilização do motor, originalmente projetado para uso esporádico e intermitente, não permitindo, por seu intenso aquecimento, o uso por mais de 12 minutos em cada sessão de testes. Tal fato limitou gravemente a confiabilidade dos resultados, pois os ensaios foram, obrigatoriamente, feitos para, no máximo, 10 litros de água deslocada por ensaio.

*Cota enviada
Os computadores 5 e 6 são do período do
Estado-Indiano "valde" 1917 até então, após
decretos em 1917 e 1918

Nota ptoal de compra de 2000 de
duplo: 2000, com unidades de 2000 e 2000
de 2000

52:7

7. Falla

266f

Project Memento II. PMC 581

8161002

Supremo Tribunal de Justiça

8/16/07

Answer not given not awarded

24/8

W. B. Smith & Co.

1999 02 02

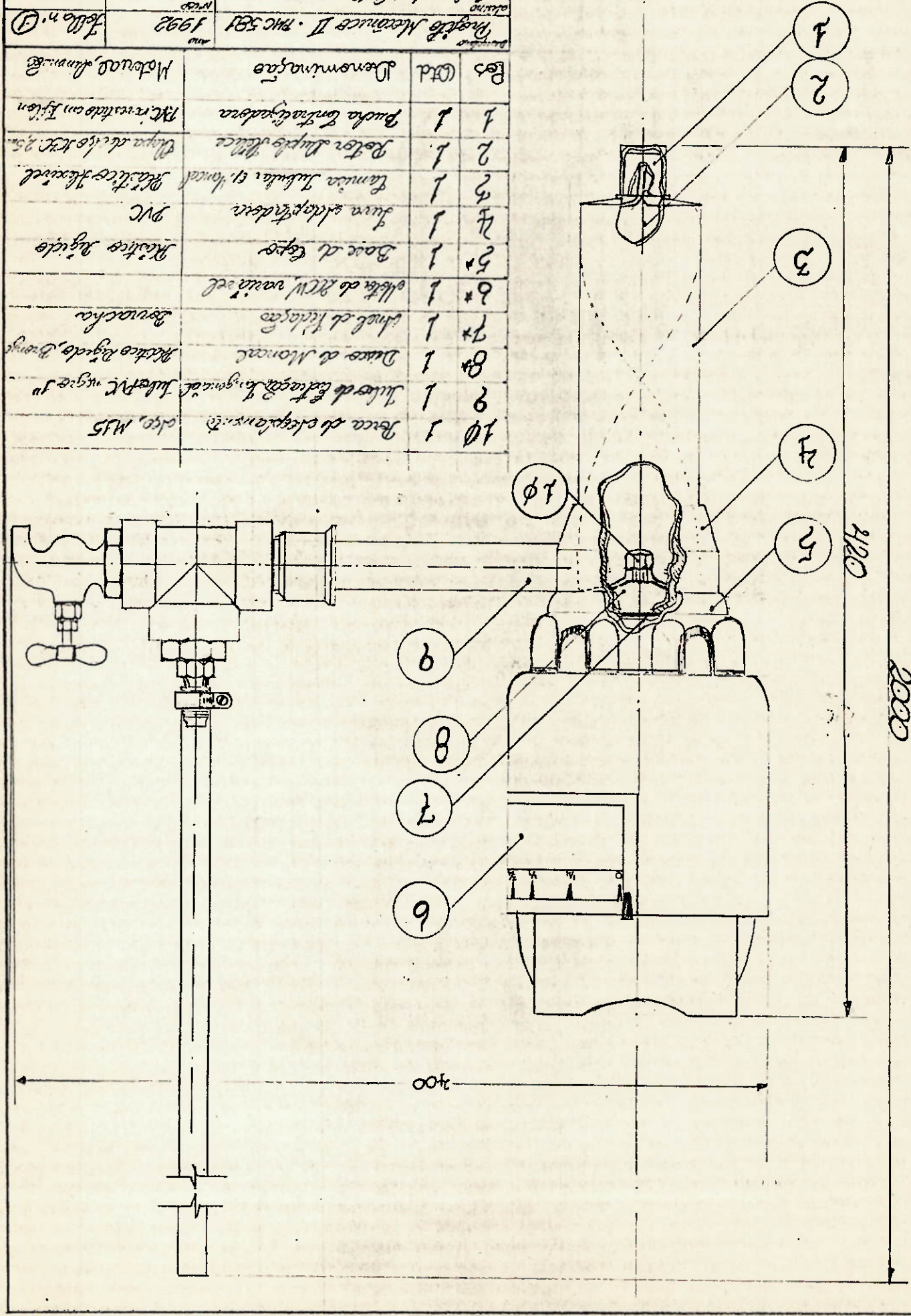
was a mother as much as I

2014.04.24

duplo-folha, com nervos de cada

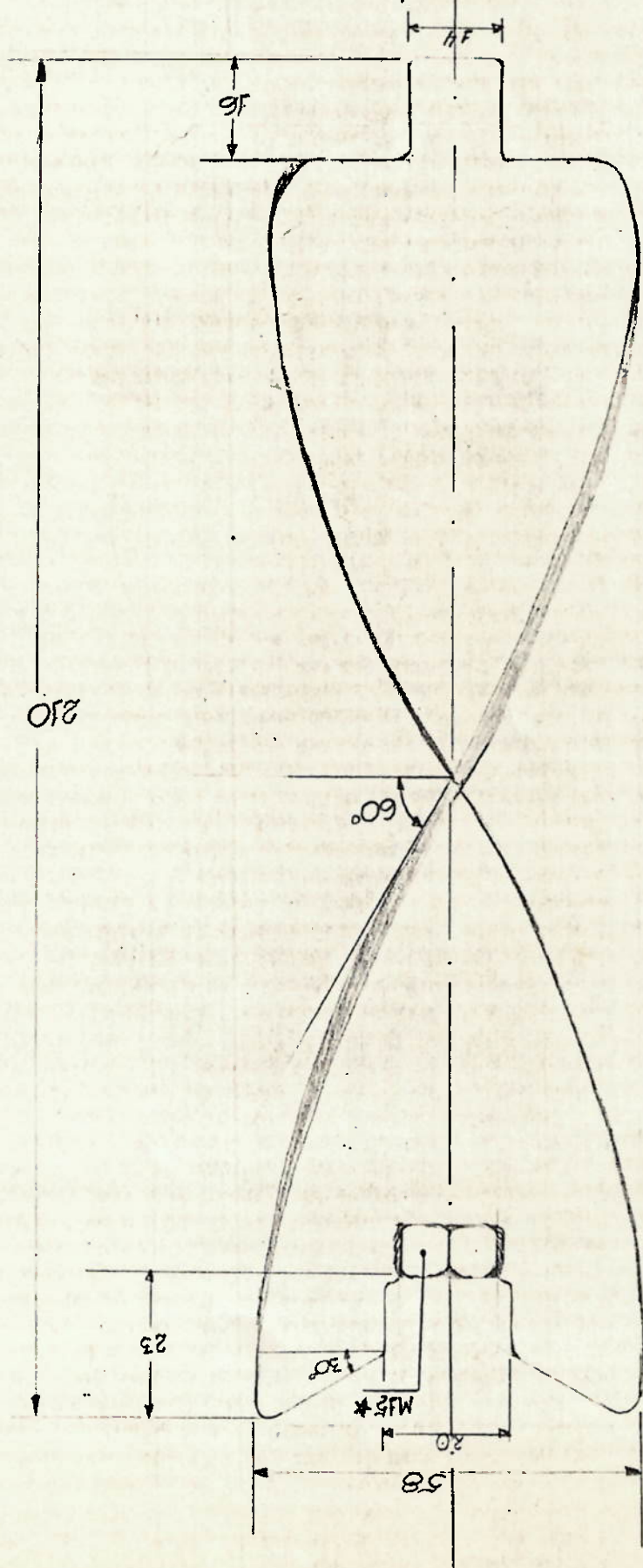
Conrad 70

© 2007 The Authors
Journal compilation © 2007 Blackwell Publishing Ltd

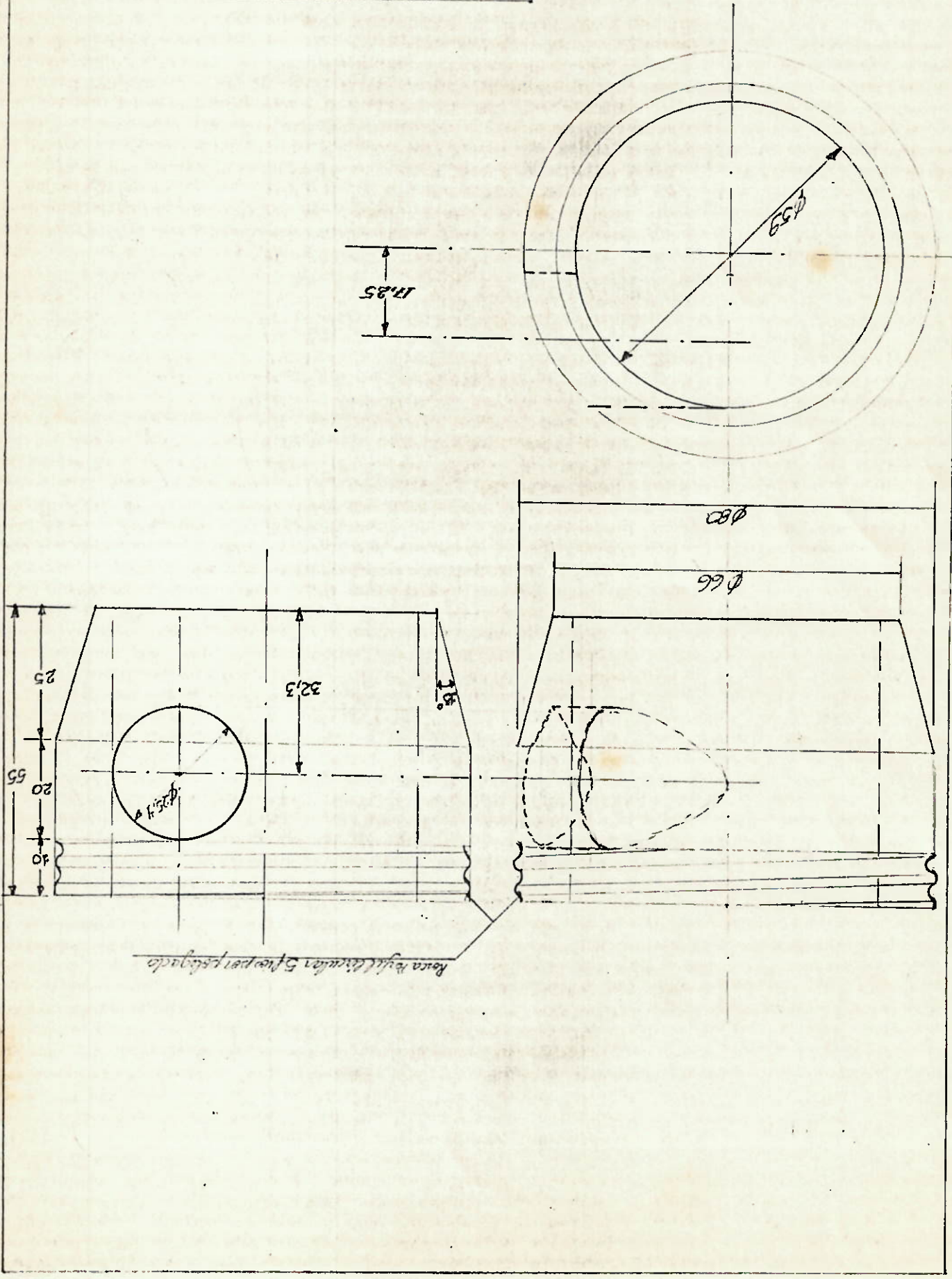


* Osservazione:
 Il pezzo di accoppiamento (p. 10) alla
 rappresentazione corrispondente per la
 veduta in vista.

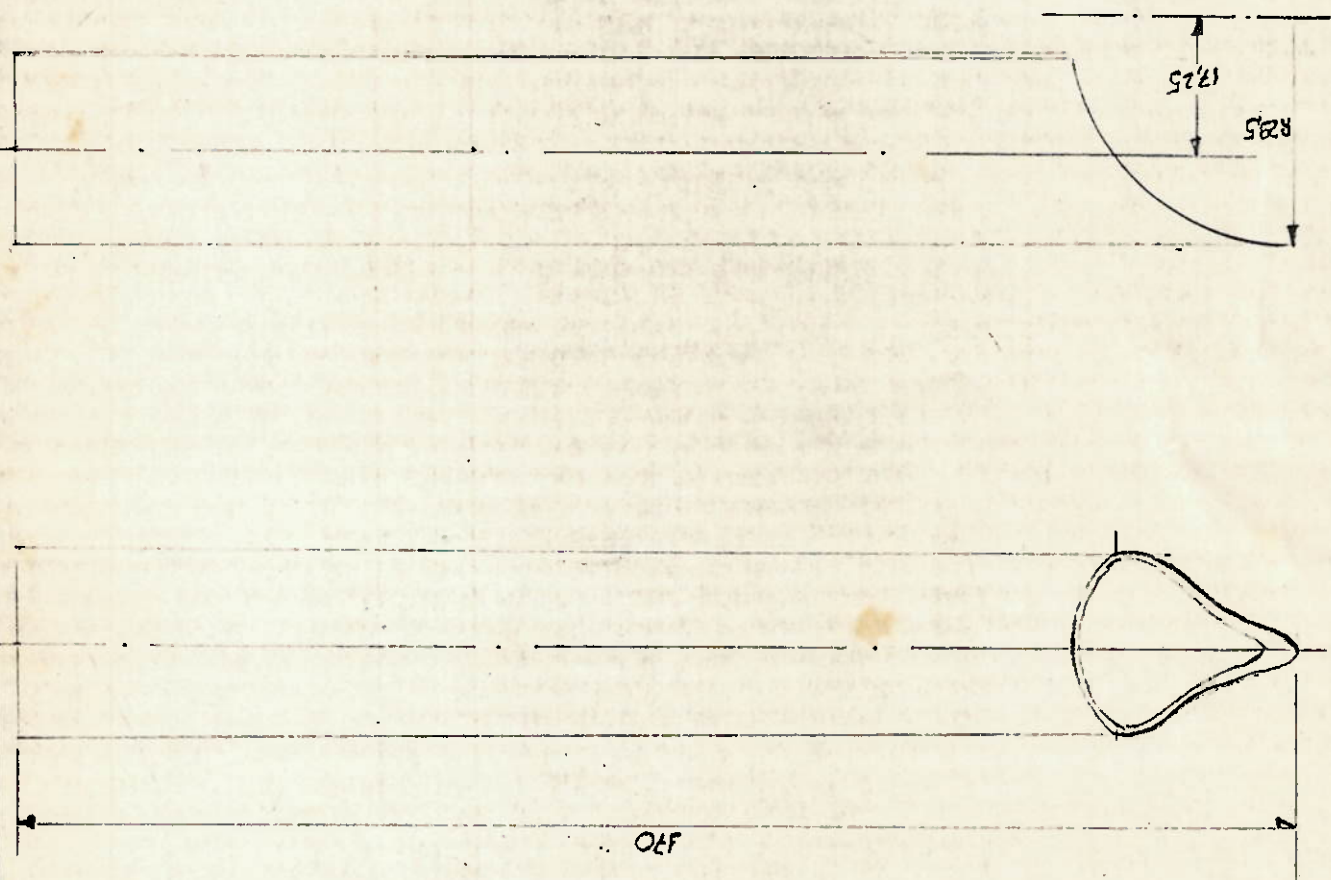
Osservazione: Elenco di pezzi 1030, 2.5 mm		
Disegno Disegno Disegno	Disegno Disegno Disegno	Disegno Disegno Disegno
Disegno Disegno Disegno	Disegno Disegno Disegno	Disegno Disegno Disegno
Disegno Disegno Disegno	Disegno Disegno Disegno	Disegno Disegno Disegno



Original PVC Handpiece Projeto: Mecânica II - PING 581 Data: 1992		Desenho Escala: 1:1
Auto adaptável para 1992	2004918	Revisão 1
Projeto: Mecânica II - PING 581 Data: 1992		Escala: 1:1



Material: Jule de PVC negro 3" NBR 6150		
Proyecto: Mecanica II. PNC 531	Año: 1992	Folia n° 6
Delineado: Jule de extrusion longitudinal de PVC negro		
Delineado:	2004/19/18	Burea 9
F. J.		



Resultados Experimentais

O dispositivo foi encaixado entre dois cubos graduados,

preenchendo de 100 ml, com 20% de esparadrapo.

Depois, com ajuda de uma bomba de vácuo, retiramos,

com volume de (47 ± 0,2) ml, e armazenado em recipientes bem.

reservado de plástico fechado.

Realizou-se:

Volume Formado	Coluna	Tempo	Volume	Ritmo	Ritmo	Reservado
(pressão de 200 mm)	(ml/min)	(s)	(ml/s)	(ml/s)	(ml/s)	(ml/s)

1/8 = 25	0,37	∞	0	230	—	—
1/8 = 25	0,12	330	563 × 10 ⁻⁵	240	0,042	1,7%
1/4 = 50	0,28	∞	0	440	—	—
1/4 = 50	0,30	108	3,70 × 10 ⁻⁵	480	0,072	1,4%
3/8 = 75	0,52	∞	0	660	—	—
3/8 = 75	0,50	62	6,45 × 10 ⁻⁵	720	0,32	0,7%
1/2 = 100	0,70	∞	0	880	—	—
1/2 = 100	0,63	61	6,56 × 10 ⁻⁵	920	0,40	0,40%
100	0,58	44	9,09 × 10 ⁻⁵	960	0,51	0,50%
5/8 = 125	0,87	2	0	1100	—	—
5/8 = 125	0,75	98	4,08 × 10 ⁻⁵	1150	0,30	0,24%
125	0,70	43	9,30 × 10 ⁻⁵	1200	0,66	0,53%
3/4 = 150	0,95	∞	0	1300	—	—
150	0,89	114	3,51 × 10 ⁻⁵	1360	0,31	0,23%
150	0,80	52	7,69 × 10 ⁻⁵	1400	0,60	0,40%
150	0,77	30	1,33 × 10 ⁻⁴	1440	1,00	0,67%

$$\text{Volume fluido} = \text{Volume} \times \text{coluna} = 981,01 \times 10^4 \left(\frac{\text{cm}^3}{\text{m}^2} \right)$$

$$\left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) \left(\frac{\text{cm}^3}{\text{m}^2} \right) = \left(\frac{\text{g}}{\text{m}^2} \right)$$

$$\frac{1}{\text{m}^2} \times \frac{1}{\text{m}^2} \times \frac{1}{\text{m}^2} \times \frac{1}{\text{m}^2} = \frac{1}{\text{m}^2} = W$$

$$\text{Volume } 0,004 \text{ m}^3, \text{ Volume } = \frac{0,004}{\Delta t} \times 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Realizado, também, experimento em que o volume
 foi mantido fixado, variando-se sucessivamente a vol-
 ta recebida, onde a experiência realizada teve um desvio
 médio de 40 (40 ± 1), resultando de uma potência fornecida de
 200 W, demonstrando em decimo de segundo.

Estima (m)	Tempo (s)	Voltagem (V _{eff})	Potência (W)	Rendimento
0,1	41,5	$2,41 \times 10^{-4}$	0,221	0,12%
0,2	47,0	$8,13 \times 10^{-4}$	0,42	0,21%
0,3	50,2	$1,99 \times 10^{-4}$	0,59	0,39%
0,4	58,7	$2,58 \times 10^{-4}$	1,01	0,51%
0,5	47,8	$2,09 \times 10^{-4}$	1,05	0,51%
0,6	63,0	$1,59 \times 10^{-4}$	0,94	0,47%
0,7	52,7	$1,90 \times 10^{-4}$	1,31	0,65%
0,8	54,2	$1,85 \times 10^{-4}$	1,45	0,73%
0,9	60,5	$1,65 \times 10^{-4}$	1,46	0,73%
1	70,1	$1,43 \times 10^{-4}$	1,40	0,70%

Os resultados são muito promissores, pois de
 acordo com a experiência realizada, onde se observou
 grande diferença entre os resultados, os resultados
 para a potência de rendimento, os resultados
 obtidos e dissipados são muito próximos de 100 W,
 o que indica a eficiência do sistema.
 De acordo com os resultados obtidos, os resultados
 para a potência de rendimento, os resultados
 obtidos e dissipados são muito próximos de 100 W,
 o que indica a eficiência do sistema.