



GUSTAVO EIJI YKEDA

**ESTUDO DO RENDIMENTO DE BOMBEAMENTO PARA UM
PROTÓTIPO DE CARNEIRO HIDRÁULICO DE PVC**

Inconfidentes/MG

2017

GUSTAVO EIJI YKEDA

**ESTUDO DO RENDIMENTO DE BOMBEAMENTO PARA UM
PROTÓTIPO DE CARNEIRO HIDRÁULICO DE PVC**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como pré-requisito de conclusão de curso de Graduação Bacharelado em Engenharia Agrônômica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – *Campus* Inconfidentes, para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Fernando da Silva Barbosa

Coorientador: Prof Dr. Miguel Angel Isaac Toledo del Pino

INCONFIDENTES- MG

2017

GUSTAVO EIJI YKEDA

**ESTUDO DO RENDIMENTO DE BOMBEAMENTO PARA UM
PROTÓTIPO DE CARNEIRO HIDRÁULICO DE PVC**

Data de aprovação: __/__/20__

Prof. Dr. Fernando da Silva Barbosa
IFSULDEMINAS- *Campus* Inconfidentes-MG

Prof. Dr. Miguel Angel Isaac Toledo del Pino
IFSULDEMINAS- *Campus* Inconfidentes-MG

Prof. Me. Carlos Magno de Lima
IFSULDEMINAS- *Campus* Inconfidentes-MG

DEDICATÓRIA

“Aos meus pais e a minha irmã, que sempre me ajudaram”

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, irmã, tias, tios, primos e primas, pelo incentivo e esforço para que eu pudesse completar essa fase da minha vida.

A todos os professores do curso de Engenharia Agrônômica pelo empenho e dedicação. Em especial aos professores Dr. Fernando da Silva Barbosa e Dr. Miguel Angel Isaac Toledo del Pino pela paciência e orientação para execução deste trabalho e ao professor Ms. Rafael Cesar Bolleli, que além de ajudar no projeto de baseball, um grande amigo.

Aos meus colegas de turma que suportaram 5 anos de estudos e brincadeiras.

Ao IFSULDEMINAS – *Campus* Inconfidentes, que forneceu toda estrutura para meu aprendizado, além de custear meu período de intercâmbio.

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram para minha formação profissional e pessoal.

EPÍGRAFE

“Você precisa sentar a bunda na cadeira e melhorar a tua capacidade de pensamento porque depois você aplica isso aonde for. Porque se você só ficar no show do Ari Toletto, coisas fáceis, solzinho, público... Aqui tem a empresa... nha, nha, mimi. Pelo amor de Deus "Véio". Pega alguma coisa de gente, tenha culhão. Mesmo que não tenha nada a ver com você, tenha sangue. Reaja! O que todo mundo diz: "nem pega o texto, cara. Isso aí é para dois ou três". Porra, se o cara me diz que isso é para dois ou três, então é para mim. Cadê a porra do negócio?”.

Clóvis de Barros Filho

RESUMO

Visto a dificuldade energética no meio rural e a necessidade de irrigação, mesmo em pequenas propriedades, tem-se aumentado o uso do carneiro hidráulico, que por meio do princípio do golpe de aríete bombeia água sem o uso de energia elétrica. Contudo, seu rendimento em função de altura bombeada não é tão eficiente e por meio deste estudo objetivou-se com a adição de uma válvula retentora na entrada do carneiro ter um ganho de eficiência. A válvula tem a função de formar uma barreira física para a água que retorna após seu golpe com a válvula de sucção. O projeto foi desenvolvido com delineamento em blocos casualizados, com 4 blocos. Foram instalados 1 carneiro hidráulico de PVC (convencional) e 1 carneiro hidráulico com retentor que foram avaliados ao mesmo tempo. A altura de queda foi a mesma, variando a cada 4 dias 1 metro da altura bombeada. Foram realizadas 4 repetições para cada altura analisada e avaliou-se a vazão de saída através de hidrômetros, pressão de entrada e saída do sistema, vazão de entrada, volume de água perdida e número de batidas por minuto, sendo assim possível medir sua eficiência. O carneiro hidráulico com válvula apresentou um rendimento inferior na maioria das alturas estudadas, somente com 9 metros de altura apresentou bombeamento superior ao convencional, prejudicando assim sua relação custo benefício.

Palavras-chave

Golpe de Aríete; Eficiência de bombeamento; Válvula de retenção; Choque de Aríete

ABSTRACT

Considering the energy difficulty in the rural environment and the need for irrigation, even in small properties, the use of hydraulic ram has been increased, which by means of the principle of water hammer pumps water without the use of electric energy. However, its yield as a function of height pumped is not as efficient and through this study was objectified with the addition of a retaining valve at the entrance of the ram to have an efficiency gain. The valve has the function of forming a physical barrier to the water that returns after its shock with the suction valve. The project was developed with a randomized blocks design, with 4 blocks. One hydraulic ram of PVC (conventional) and one hydraulic ram with retainer were installed that were evaluated at the same time. The height of fall was the same, varying every 4 days 1 meter of the height pumped. Four replicates were performed for each height analyzed and the output flow was measured through water meters, system inlet and outlet pressure, inlet flow, lost water volume and number of beats per minute, so that its efficiency could be measured. The hydraulic ram with valve presented a lower yield in most of the studied heights, only with 9 meters of height presented superior pumping to the conventional, thus damaging its cost benefit relation.

Key words

Water hammer; Pumping efficiency; Retention valve;

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1. CARNEIRO HIDRÁULICO.....	3
2.2. GOLPE DE ARÍETE.....	4
2.3. TEORIA PARA O PROTÓTIPO.....	5
3. MATERIAL E MÉTODOS	6
3.1. LISTAGEM DOS MATERIAIS PARA A MONTAGEM DO CARNEIRO HIDRÁULICO DE PVC (CONVENCIONAL) E ESQUEMA DE ACOPLAMENTO DAS PEÇAS.....	7
3.2. MONTAGEM DO CARNEIRO HIDRÁULICO DE PVC (CONVENCIONAL)	8
3.3. LISTAGEM DOS MATERIAIS PARA A MONTAGEM DO CARNEIRO HIDRÁULICO DE PVC (PROTÓTIPO) E ESQUEMA DE ACOPLAMENTO DAS PEÇAS.....	9
3.4. MONTAGEM DO CARNEIRO HIDRÁULICO (PROTÓTIPO)	10
3.5. ADAPTADOR PARA MANÔMETRO.....	10
3.6. FILTRO PARA SUCÇÃO	11
3.7. MANGUEIRAS	11
3.8. HIDRÔMETRO	12
3.9. CONTROLE DA ALTURA DAS MANGUEIRAS (ALTURA DE BOMBEAMENTO)	12
3.10. FONTES DE VARIAÇÃO	14
3.10.1. Vazão disponível - VD (L/s).....	14
3.10.2. Pressões no sistema (PSC; PCC; PBC em mca).....	14
3.10.3. Vazão bombeada (VB em L/h)	14
3.10.4. Número de batidas por minuto (B/min em Batidas/minuto)	14
3.10.5. Vazão de água perdido (VP em L/s)	15
3.10.6. Rendimento de uso da água (RUA).....	15
3.10.7. Rendimento econômico (RE em (L/Dia.R\$)).....	15
3.10.8. Volume bombeado por batida (ml/bat em mililitros/batida)	16
3.10.9. Volume perdido por batida (VPB em L/batida).....	16
3.11. MONTAGEM DO SISTEMA	16
4. RESULTADO E DISCUSSÃO	19
5. CONCLUSÃO	29
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

1. INTRODUÇÃO

Após a revolução verde, nas décadas de 1950 e 1960, ficou-se a premissa de utilizar de forma crescente insumos, água e energia visando uma maior produção, focando-se exclusivamente no desenvolvimento tecnológico para grandes produções. Assim, ocorreu um vácuo tecnológico para os pequenos e médios produtores, que com menor capital, não tem acesso a tecnologias de ponta.

Um dos pacotes tecnológicos mais utilizados é a irrigação, que por meio de motobombas pode transportar e disponibilizar grandes quantidades de água possibilitando tornar produtivas áreas que anteriormente seriam inadequadas para se estabelecer uma produção agrícola, principalmente pela baixa disponibilidade hídrica para as culturas. Porém, o uso de motobombas demanda uma alta carga energética advinda de redes elétricas ou de energia fóssil para o seu funcionamento.

Atualmente as dificuldades e transtornos relacionados a rede elétrica no campo são uma realidade, como quedas de energia, aumento do custo da tarifa energética e dificuldade de implantação e manutenção da rede. Além disto, a elevação do custo dos combustíveis fósseis torna cada vez mais inviável a utilização destas alternativas energéticas para substituição da energia elétrica.

Muitas das propriedades rurais também possuem açudes que não são utilizados ou são subutilizados por falta de recurso ou condição técnica, como exemplo os açudes que são usados para a dessedentação de animais, uma prática que pode levar ao seu assoreamento ou ocasionar acidentes, como o atolamento do animal ao pisotear uma área mais sensível do terreno. Para isso, o mais adequado é a disponibilização da água em um ponto de fácil acesso e que assegure a qualidade do recurso hídrico sem o contato direto com esses animais.

Assim, há uma grande demanda e procura de sistemas alternativos de bombeamento que não tenham grandes necessidades energéticas, sendo o carneiro hidráulico um dos sistemas que se destacam nesta condição, pois funciona a partir do princípio do Golpe de Aríete para o recalque da água, utilizando a própria energia hidráulica disponível no local de

funcionamento.

Todavia, o carneiro hidráulico não possui um bom rendimento de bombeamento, tanto para a vazão bombeada como para a altura total de recalque. Portanto, idealizou-se com esse trabalho uma melhoria do sistema de bombeamento do tipo carneiro hidráulico com a adição de um retentor (válvula de retenção) na entrada do sistema, mantendo a energia gerada pelo golpe “armazenada” dentro do sistema.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da inclusão de uma segunda válvula de retenção em um sistema de bombeamento do tipo “carneiro hidráulico de PVC” (Protótipo) quando comparado a um sistema “carneiro hidráulico de PVC (Original)” tendo como hipótese que ocorreria um aumento do rendimento em altura (altura de bombeamento) e que o material construtivo resistiria ao aumento de pressão interna melhorando a sua relação de custo benefício.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. CARNEIRO HIDRÁULICO

O carneiro hidráulico foi inventado em 1772, por John Whitehurst, sendo um aparelho para o bombeamento de água que utiliza o próprio movimento da água para seu funcionamento e assim, tornando-se de grande utilidade no meio rural (MAEDA, 2010). Por seu fácil manuseio, o aparelho não demanda uma mão-de-obra especializada para sua utilização ou manutenção, não demanda energia elétrica, seu funcionamento não emite gases poluentes e o custo de manutenção e operação são relativamente baixos (ABATE, 2000).

O carneiro é um dispositivo que foi usado extensivamente por quase um século em áreas rurais para bombear água para alturas superiores a 100 metros. É a máquina ideal para bombeamento se certas condições forem ideais, pois o sistema somente funciona com a força da água em queda direcionada por um tubo. O sistema é automático e tem um excepcional histórico de ausência de problemas (WATT, 1975).

Para o funcionamento do carneiro hidráulico ele deve ser instalado em um nível mais baixo do que a fonte de água, no mínimo 1,0 m e, de preferência, na cota mais baixa possível (AZEVEDO NETO, et al., 1998). Azevedo Neto (1998) resume o funcionamento do aparelho indicando que inicialmente a água que chega ao carneiro hidráulico sai por uma válvula externa até o momento em que é atingida uma velocidade elevada, neste instante a válvula se fecha repentinamente, ocasionando uma sobre pressão no interior do aparelho que possibilita o bombeamento da água.

Segundo Gomes Filho et al. (2013) existem carneiros hidráulicos de vários tipos e tamanhos, podendo ser do tipo industrial ou do tipo “artesanal” feito de PVC. Geralmente o carneiro hidráulico do tipo industrial possui um rendimento de bombeamento superior ao artesanal, porém seu custo também é superior. Algumas das especificações para um carneiro industrial são apresentadas por Gomes Filho et al. (2013) para a marca Marumby (Tabela 1).

Tabela 1: Tamanho do carneiro hidráulico caracterizado por um número e suas características principais (Adaptado de GOMES FILHO et al, 2013).

N ^o	Vazão de alimentação (L min ⁻¹)	Diâmetro do tubo de entrada (“)	Diâmetro do tubo de saída (“)
2	7 – 11	¾	3/8
3	7 – 15	1	½
4	11 – 26	1 ¼	½
5	22 – 45	2	¾
6	70 - 120	3	1 ¼

2.2. GOLPE DE ARÍETE

O “golpe de aríete” é o efeito da interrupção abrupta de um escoamento contínuo do fluxo da água em uma tubulação resultando em um aumento de pressão, observando-se esse efeito ao fechar bruscamente a saída de água de uma mangueira, onde ocorre um movimento independente da mangueira (THIAGO FILHO,2002).

Para Carvalho e Oliveira (2008) o golpe de aríete é o conjunto de fenômenos que ocorrem nos condutos forçados quando, por meio de dispositivos de regulação, varia-se a vazão do escoamento de água, conseqüentemente modificando sua velocidade. Em função da transformação da energia cinética da água em energia potencial, ocorrem variações de pressão interna nos tubos, variações estas que se propagam velozmente ao longo do conduto. Como exemplo, o fechamento rápido de uma válvula interrompendo o fluxo, causa uma sobrepressão em função da transformação de energia cinética em energia potencial (CARVALHO e OLIVEIRA, 2008).

Ainda segundo Carvalho e Oliveira (2008), a sobrepressão pode atingir grandes proporções, provocando ruptura e grandes prejuízos quando não é controlada, porém o carneiro hidráulico utiliza essa sobrepressão para recalcar a água de um reservatório até um ponto com cota superior.

E o nome Aríete vem de um equipamento de guerra da idade média que era constituído por uma tora e em sua ponta era fixada uma peça de metal em formado de uma cabeça de carneiro. Os sucessivos golpes com este equipamento eram utilizados para derrubar portões, sendo estes golpes semelhantes ao utilizado pelo carneiro hidráulico (GIRARD, 2008).

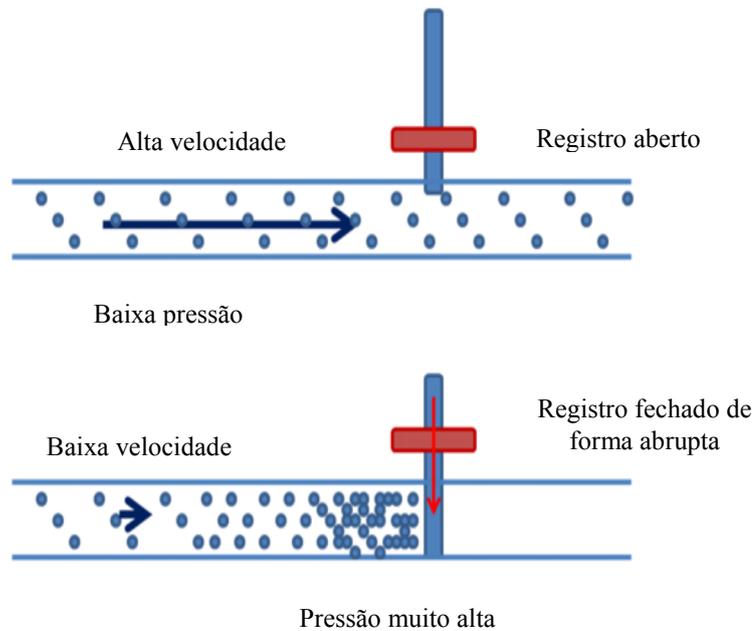


Figura 1: GOLPE DE ARÍETE (Adaptado de BROWNE, 2008)

2.3. TEORIA PARA O PROTÓTIPO

Após a interrupção abrupta da água há uma energia potencial gerada dentro do carneiro hidráulico, essa energia faz com que a água seja impulsionada para uma cota superior (CARVALHO e OLIVEIRA, 2008), porém há uma perda de energia durante esse processo, pois parte dessa energia é dissipada quando ocorre o encontro da água que sofreu o golpe com a água que entra novamente no sistema do carneiro hidráulico.

A inclusão de uma barreira física, como a adição de um retentor horizontal ao “te” inferior do equipamento, pode minimizar essa dissipação de energia. Porém, sabe-se que a adição de conexões em um sistema hidráulico causa uma perda localizada de carga (GOMES FILHO et al., 2013) que deverá ser contabilizada para permitir que o ganho de energia não seja inferior a perda causada pela conexão inserida no sistema, podendo assim obter um aumento de rendimento do carneiro hidráulico.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na Fazenda-Escola do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas, *Campus* Inconfidentes, utilizando como fonte de água um reservatório/tanque já construído e situado próximo ao viveiro de mudas da instituição com as coordenadas geográficas: latitude 22°18'42.05"S longitude 46°20'1.63"O (Figura 2). Foi realizada uma análise do perfil topográfico do local de estudo a fim de mensurar a altura de trabalho em que foram instalados os carneiros hidráulicos, chegando a um desnível máximo de 5 metros.



Figura 2: Imagem aérea da Fazenda do IFSULDEMINAS – *Campus* Inconfidentes destacando o local de instalação do projeto. (Fonte: Google Maps)

O delineamento experimental adotado foi o Delineamento em Blocos Casualizados (DBC) em esquema fatorial 2 x 4, sendo 2 sistemas de bombeamento (S) e 4 alturas de bombeamento (A) testados em 4 repetições (Tabela 2). Os sistemas avaliados foram: “carneiro hidráulico de PVC com válvula adicional” (Protótipo); “carneiro hidráulico de PVC sem válvula adicional” (Convencional)”.

As variáveis estudadas foram: (1) Vazão Disponível, em litros/segundo; (2) Pressão na entrada do sistema sem o carneiro estar em funcionamento, em mca; (3) Pressão na entrada do sistema com o carneiro em funcionamento, em mca; (4) Pressão de bombeamento na saída do sistema em funcionamento, em mca; (5) Vazão bombeada, em litros/hora; (6) Número de

batidas, em batidas/minuto; (7) Volume bombeado por batida, em ml/batida; (8) Vazão perdida, em litros/segundo; (9) Rendimento de uso da água; (10) volume perdido por batida, em L/batida; (11) Rendimento econômico, em L/dia.real

Tabela 2. Tabela de resumo para análise de variância.

Fontes de Variação	Graus de Liberdade (GL)
Bloco	3
Sistemas de Bombeamento (S)	1
Alturas de Bombeamento (A)	3
Interação (S x A)	3
(Tratamentos)	7
Resíduos	21
Total	31

Os materiais necessários para a construção do carneiro hidráulico de PVC (Convencional) estão listados abaixo, assim como está apresentado o esquema de acoplamento de cada peça (Figura 3) e a descrição das etapas para a sua montagem (GLOBO RURAL, 2015).

3.1. LISTAGEM DOS MATERIAIS PARA A MONTAGEM DO CARNEIRO HIDRÁULICO DE PVC (CONVENCIONAL) E ESQUEMA DE ACOPLAMENTO DAS PEÇAS.

Para a montagem do sistema convencional foram necessárias as peças listadas abaixo:

- 1 cap de PVC 3/4"
- 1 cano de 40 cm 3/4"
- 1 adaptador para mangueira 1/2" com rosca de 3/4"
- 1 válvula de retenção vertical 3/4"
- 2 adaptadores 3/4"
- 2 "T" 3/4"
- 1 cotovelo 3/4"
- 1 bomba de sucção 3/4"
- 4 niples 3/4"
- 1 hidrômetro 3/4"
- 1 broca nº 7 mm
- 1 adaptador de mangueira 1"
- 1 mola para o acionador da válvula
- 1 parafuso 5/16
- 1 registro 1"
- 1 arruela 5/16
- 3 porcas 5/16

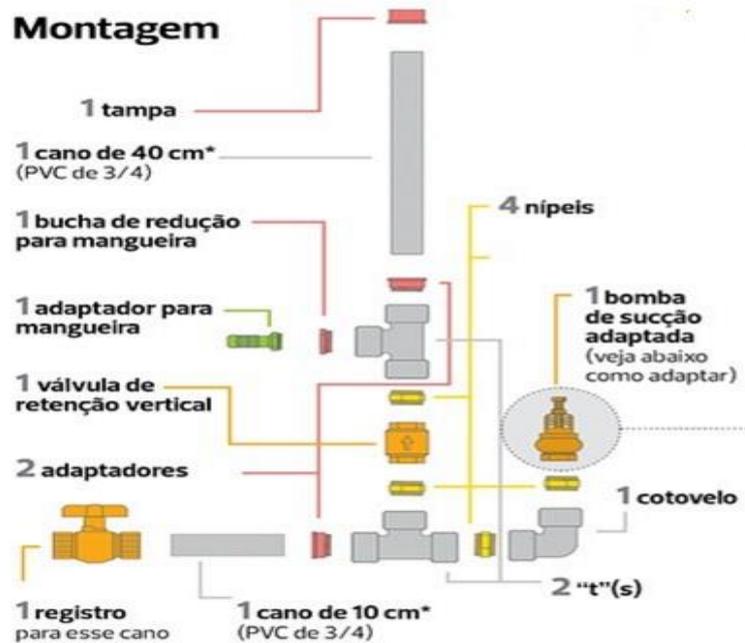


Figura 3: Detalhe do esquema de acoplamento das peças para o carneiro hidráulico de PVC (Convencional) (GLOBO RURAL, 2015)

3.2. MONTAGEM DO CARNEIRO HIDRÁULICO DE PVC (CONVENCIONAL)

Inicialmente foi desmontada a bomba de sucção (válvula de pé com crivo), realizou-se um furo com a broca número 7 mm na parte superior do crivo e com o auxílio de um macho para rosca confeccionou-se a rosca para inserir o parafuso 5/16 com uma porca rosqueada até que um terço do parafuso atravessasse o crivo da bomba de sucção. Após este procedimento, adicionou-se mais uma porca a fim de travar o parafuso. Foi necessário inserir uma arruela e mais uma porca fazendo um “sanduiche” para unir as duas porcas. Colocou-se a mola encostada na arruela e rosqueou-se na base da bomba de sucção, montando novamente a peça e sempre mantendo a mola na posição vertical. Após a adequação da bomba de sucção, uniu-se a bomba em um niple que ficou ligado a um cotovelo e este a um outro niple.

Foi inserido o cap sobre o cano de 40 cm e na outra extremidade colou-se o adaptador. Com o “T” posicionado com suas duas extremidades laterais na posição vertical, rosqueou-se na parte superior o cano de 40 cm, na saída horizontal do “T” estava o adaptador de mangueira de ½” com rosca ¾”, e na parte inferior ao “T” ficou a válvula de retenção vertical, que em suas extremidades estavam os nipleis.

Com o carneiro dividido em 3 partes, uniu-se ao segundo “T” que ficou na posição de T invertido. Em seu lado direito foi instalado o conjunto da bomba de sucção. Na posição

superior do “T” instalou-se o conjunto do cano de 40 cm. E no lado esquerdo instalou-se o adaptador de mangueira de 1”.

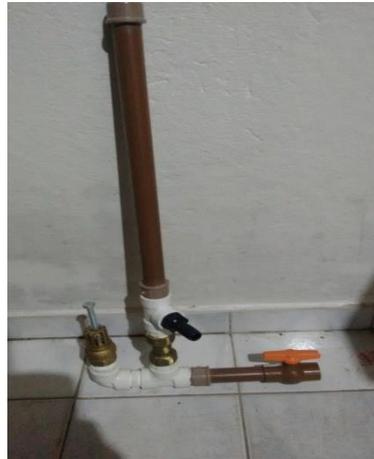


Figura 4: Carneiro hidráulico de PVC (Fonte: Autorial própria)

3.3. LISTAGEM DOS MATERIAIS PARA A MONTAGEM DO CARNEIRO HIDRÁULICO DE PVC (PROTÓTIPO) E ESQUEMA DE ACOPLAMENTO DAS PEÇAS.

Foi utilizado o mesmo conjunto de peças da construção do carneiro hidráulico de PVC (Convencional), contudo foi necessário adicionar 2 niples de $\frac{3}{4}$ ” e 1 retentor vertical de $\frac{3}{4}$ ”. As peças foram incluídas no ponto de destaque no esquema abaixo.

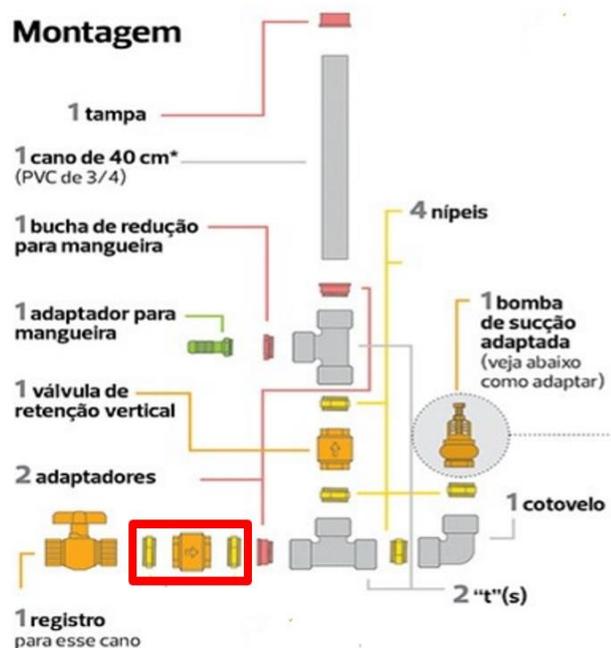


Figura 5: Detalhe do esquema de acoplamento das peças para o carneiro hidráulico de PVC (Protótipo) (Adaptado de GLOBO RURAL, 2015)

3.4. MONTAGEM DO CARNEIRO HIDRÁULICO (PROTÓTIPO)

Seguiu-se os mesmos procedimentos utilizados para a construção do carneiro hidráulico de PVC (Convencional), mas foi adicionado um retentor vertical cercado por 2 niples entre o adaptador de mangueira de 1" e o "T".(Figura 6).



Figura 6: Carneiro hidráulico de PVC Protótipo (Fonte: Autoria própria)

3.5. ADAPTADOR PARA MANÔMETRO

Foi utilizado um conector tipo "T" com 2 entradas de mangueira de diâmetro 1" e outro "T" de 1/2" e 1 saída com rosca "fêmea" de diâmetro 1" e outro de 1/2", 1 adaptador de diâmetro 1" e outro de 1/2". Aproximadamente 5 cm de tubo de PVC de 1" e outro de 1/2", 1 CAP de 1" e outro de 1/2" e 1 bico de câmara de ar para realizar a leitura.

Foi construído um adaptador para manômetro de 1" para medir a pressão na entrada do carneiro e um adaptador para manômetro de 1/2" para medir a pressão na saída/recalque do sistema. (Figura 7)



Figura 7: Manômetro (esquerda) Calibrador de pneu tipo caneta (direita) (Fonte: Autoria própria)

Para realizar a medida de pressão foi utilizado um calibrador de pneu tipo caneta(Figura 7).

3.6. FILTRO PARA SUCCÃO

O filtro foi construído utilizando uma caixa de madeira onde foram fixadas as mangueiras de sucção (Figura 8). Como elemento filtrante utilizou-se 2 sacos de juta sobrepostos para reter as impurezas físicas e efetuar a filtragem da água (Figura 8).



Figura 8: Caixa de madeira para fixação das mangueiras (esquerda) Saco de juta para filtragem (direita) (Fonte: Autoria própria)

3.7. MANGUEIRAS

Para alimentação do carneiro (sucção), utilizou-se 25 metros de mangueira de polietileno de 1 polegada, sendo a alimentação individual para cada carneiro. Para as mangueiras de saída (adutora), utilizou-se 20 metros de mangueiras de polietileno de 1/2 polegada, sendo a saída individual para cada carneiro.

Para fixação das mangueiras foi utilizado um pedaço de madeira maciça de 10 cm altura e 15 cm de comprimento com 3 furos de 1/2" alinhados horizontalmente no centro da taboa devidamente espaçados (Figura 5 - G). Foram feitos 2 furos nas extremidades das taboas, iniciando na parte superior até transpassar para a parte inferior. Foi realizado um corte horizontal no centro da taboa e nos furos superiores colocado parafuso e porca para prensar as mangueiras a fim de não se soltarem durante o funcionamento do equipamento.



Figura 9: Suporte para suspensão das mangueiras (Fonte: Autoria própria)

3.8. HIDRÔMETRO

Foi instalado na saída dos carneiros um Hidrômetro Unimag – monojato Classe B com diâmetro nominal de $\frac{1}{2}'' - \frac{3}{4}''$ para cada sistema com o propósito de mensurar o volume de água bombeado durante o período de estudo. Inicialmente, foi cogitada a instalação de hidrômetros na entrada (sucção) do carneiro, porém a perda de vazão inviabilizou a instalação dos hidrômetros neste ponto.



Figura 10: Suporte para suspensão das mangueiras (Fonte: Autoria própria)

3.9. CONTROLE DA ALTURA DAS MANGUEIRAS (ALTURA DE BOMBEAMENTO)

Com o auxílio de uma corda graduada de metro em metro, que foi fixada no suporte de suspensão e em um galho de aproximadamente 12 m de altura (Figura 11), elevou-se as mangueiras nas alturas desejadas.



Figura 11: Suporte para suspensão das mangueiras (Fonte: Autoria própria)

Para avaliação dos sistemas foi mantida a altura de sucção fixa (5,0 m), variando as alturas de recalque de metro em metro até o nível máximo de 11 metros de altura (Tabela 3).

Tabela 3 - Alturas de bombeamento avaliadas.

Altura de sucção	Altura de recalque
Altura fixa 5,0 m	8,0 m
	9,0 m
	10,0 m
	11,0 m

Seguindo as alturas avaliadas apresentadas na Tabela 3, foram feitas as avaliações com repetições conforme a Tabela 4, correspondendo cada repetição a um dia de avaliação. O tempo de funcionamento e avaliação foi de aproximadamente 8 horas diárias, iniciando às 8:00 horas e finalizando às 16:00 horas de cada dia.

Tabela 4 – Distribuição das repetições/blocos durante o experimento.

Repetição	Altura			
	8,0 m	9,0 m	10,0 m	11,0 m
1	19/01/2017	23/01/2017	27/01/2017	31/01/2017
2	20/01/2017	24/01/2017	28/01/2017	01/02/2017
3	21/01/2017	25/01/2017	29/01/2017	02/02/2017
4	22/01/2017	26/01/2017	30/01/2017	03/02/2017

3.10. FONTES DE VARIAÇÃO

3.10.1. Vazão disponível - VD (L/s)

Foi coletada a água disponibilizada pela mangueira de alimentação (sucção) por um tempo fixo de 5 segundos, posteriormente convertido em vazão na unidade de Litros/segundo. A amostra foi medida utilizando um balde graduado fazendo-se 3 leituras para a obtenção da vazão média disponível antes do funcionamento diário do equipamento.

3.10.2. Pressões no sistema (PSC; PCC; PBC em mca)

Para a pressão na entrada do sistema sem o carneiro estar em funcionamento (PSC), coletou-se a pressão com o carneiro desligado; pressão na entrada do sistema com o carneiro em funcionamento (PCC), coletou-se a pressão com o carneiro em funcionamento na entrada do sistema; pressão de bombeamento na saída do sistema em funcionamento (PBS), amostrou-se a pressão na saída do sistema em funcionamento.

A coleta das pressões foi realizada com calibrador de pneu tipo caneta, amostragem feita com 3 repetições em cada ponto. Converteram-se os dados coletados de PSI para mca, fazendo a multiplicação dos dados medidos em PSI pelo fator de conversão 0,703.

3.10.3. Vazão bombeada (VB em L/h)

Para estimativa da vazão bombeada foi realizada a leitura do hidrômetro no início de cada dia, antes do acionamento do carneiro, e uma leitura ao final do dia, após o desligamento do equipamento. Para obtenção da vazão média bombeada, dividiu-se o volume bombeado (diferença entre leitura final e leitura inicial do hidrômetro no dia) pelo tempo de funcionamento neste dia.

3.10.4. Número de batidas por minuto (B/min em Batidas/minuto)

Contou-se as batidas realizadas pelo carneiro durante um minuto, repetindo este processo 3 vezes para obtenção do valor médio. Caso houvesse uma divergência muito alta no número de batidas entre os carneiros, realizou-se o ajuste das batidas tencionando ou aliviando a pressão da mola de regulagem presente na válvula de batida.

3.10.5. Vazão de água perdido (VP em L/s)

Com o auxílio de um copo e uma bacia plástica, coletou-se a água que era expelida pela válvula de poço do carneiro durante 10 segundos. O copo era colocado sobre a válvula, a fim de direcionar a água para a bacia (Figura 5 - I). Após a coleta da água e o tempo de funcionamento do carneiro estimou-se a vazão de água perdida.



Figura 12: Suporte para suspensão das mangueiras (Fonte: Autoria própria)

3.10.6. Rendimento de uso da água (RUA)

Para calcular o rendimento de uso da água utilizou-se a equação apresentada abaixo:

$$\text{Rendimento de uso da água} = 1 - \frac{\text{Volume bombeada}}{\text{Volume Perdido}}$$

$$\text{Volume perdido} = \text{vazão perdida} * \text{tempo de funcionamento}$$

Em que:

Volume bombeado em L; Volume perdido em L; tempo de funcionamento em segundos; Vazão perdida L/s

3.10.7. Rendimento econômico (RE em (L/Dia.R\$))

Para calcular o rendimento econômico utilizou-se a equação apresentada a seguir:

$$RE = \frac{\text{Vazão bombeada}}{\text{Custo do carneiro}}$$

Em que:

Vazão Bombeada em L/dia; Custo do carneiro em reais (Custo do carneiro de PVC = R\$110,00; Custo do carneiro protótipo= R\$163,00)

3.10.8 Volume bombeado por batida (ml/bat em litros/batida)

Para calcular o volume bombeado por batida, utilizou-se a equação apresentada abaixo:

$$\text{Volume bombeado por batida} = \frac{\text{Volume bombeado total} \times 1000}{\text{Total de batidas no dia}}$$

$$\text{Total de batidas no dia} = \frac{\text{Batidas}}{\text{seg}} \times \text{Tempo de funcionamento}$$

Em que:

Volume bombeado total em litros; Total de batidas no dia em batidas; Batidas por segundo em batidas por segundo; tempo de funcionamento em segundos

3.10.9. Volume perdido por batida (VPB em L/batida)

Para calcular o volume perdido por batida, utilizou-se a equação apresentada abaixo:

$$VPB = \frac{\text{Litros perdidos}}{\text{total de batidas no dia}}$$

3.11. MONTAGEM DO SISTEMA

Iniciou-se a montagem com as mangueiras de entrada de 1", no qual em uma das extremidade cortou-se 1 metro de mangueira e instalou-se o adaptador para manômetro. Após a instalação do adaptador para manômetro foi instalado um registro de esfera de 1" para abertura e fechamento do sistema. Para união de cada item instalado na mangueira foram colocadas abraçadeiras de metal para evitar vazamentos. Repetiu-se o processo em outra mangueira para atender o segundo equipamento.

Levou-se a extremidade com registro para a parte mais baixa da área e com o auxílio de um balde e um funil, encheu-se as mangueiras e prendeu-as no filtro. O filtro foi

posicionado completamente submerso dentro do reservatório de água para o devido funcionamento do sifão que proporcionou o fornecimento de água aos equipamentos.

Prendeu-se os carneiros nas mangueiras (sucção), posicionando as mangueiras de maneira que ficassem o mais retilíneas possível, para menor perda de velocidade da água. Também fixou-se o carneiro em uma estaca para que não ocorresse a movimentação do equipamento durante seu funcionamento.

Com a mangueira de 1/2" cortou-se 2 metros onde instalou-se um adaptador para manômetro e 0,5 metros depois instalou-se o hidrômetro. Na extremidade com o adaptador para manômetro da mangueira fixou-se no carneiro e na outra extremidade foi fixada no suporte de mangueira.

Elevou-se o suporte por meio da corta graduada a 8 metros de altura, e fez-se um teste para verificar o funcionamento do sifão e carneiro, observando se haveria vazamentos. Verificou-se que durante o funcionamento, devido as batidas do carneiro, ocorria uma movimentação da mangueira, ocorrendo o desprendimento no filtro e assim culminando na falta de água e "perda" do sifão. Assim, prendeu-se as mangueiras de sucção com estacas na parte superior da área a aproximadamente 4 metros do filtro.

O esquema apresentado na Figura 13 mostra em detalhes o fluxograma de montagem do sistema. Na figura 14 e 15 estão representadas a distribuição do sistema na área experimental.

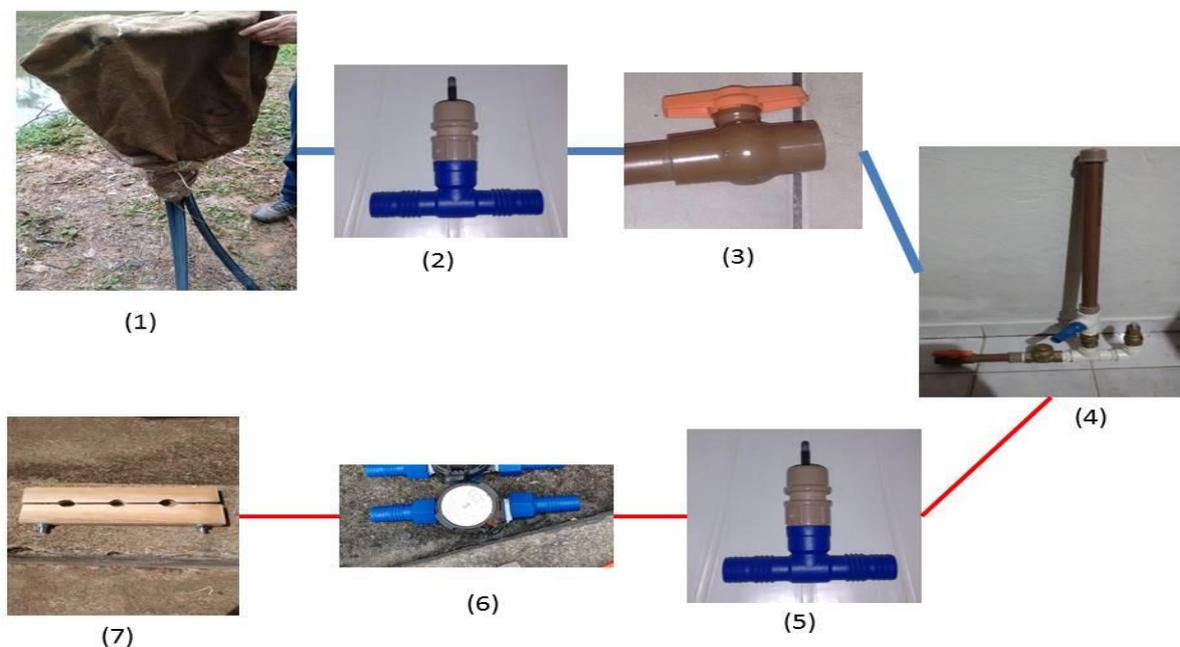


Figura 13: 1-Filtro; 2-Manômetro 1"; 3- Registro; 4- Carneiro Hidráulico; 5- Manômetro 1/2"; 6- Hidrômetro; 7 – Suporte para mangueira; Linha azul- Mangueira de 1"; Linha Vermelha- Mangueira de 1/2"(Fonte: Autoria própria)

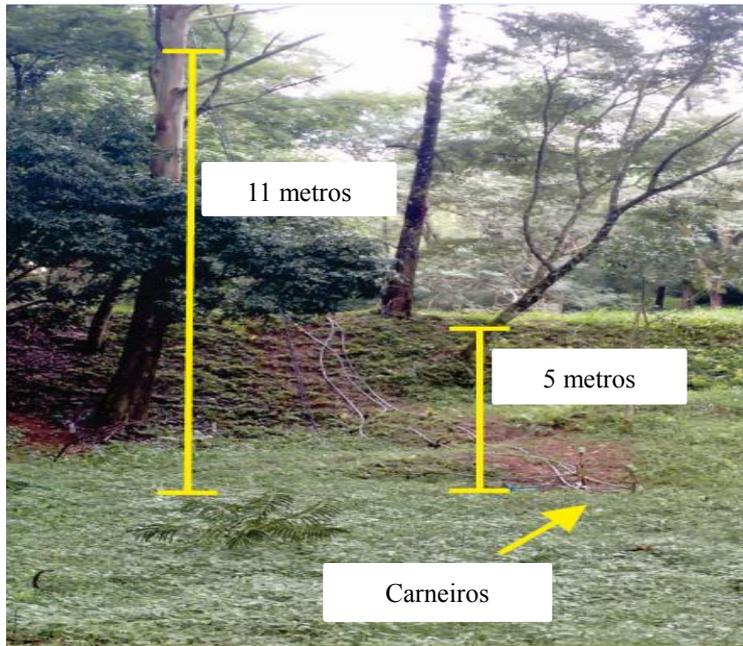


Figura 14 -: Distribuição do sistema na área experimental – Visão frontal (Fonte: Autoria própria)

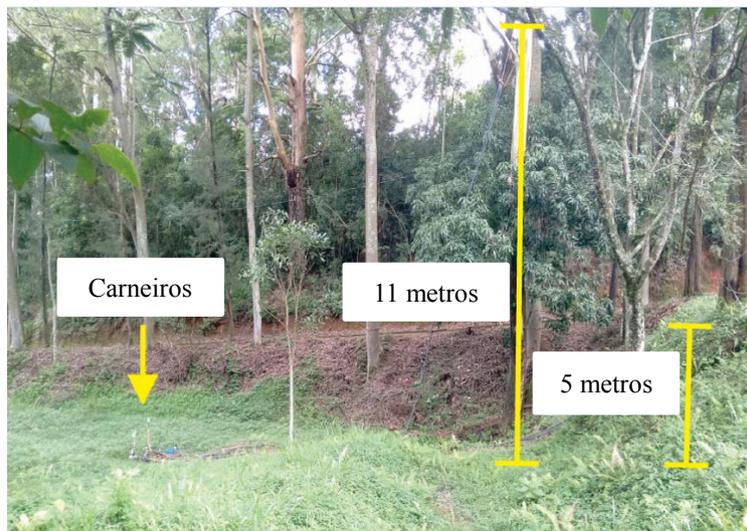


Figura 15 -: Distribuição do sistema na área experimental –Visão lateral (Fonte: Autoria própria)

Para análise dos resultados foi utilizado o software SISVAR (FERREIRA, 2014), sendo a análise de variância realizada pelo teste de F e para a comparação de médias, aplicou-se o teste de Scott- Knott, com 5% de nível de significância.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

O período de coleta de dados do experimento teve uma duração de 16 dias, iniciando no dia 19 de janeiro e finalizando no dia 3 de fevereiro de 2017. Na Tabela 5 está representado o resumo da análise de variância dos fatores relacionados a pressão e volume que foram avaliados durante este período.

Tabela 5: Resumo da análise de variância nas variáveis relacionadas a pressão e volume. Sendo Vazão disponível (VD) em (L/s); Pressão sem o carneiro estar em funcionamento (PSC) em mca; Pressão com o carneiro em funcionamento (PCC) em mca; Pressão de bombeamento na saída do carneiro (PBS) em mca; Vazão bombeada (VB) em L/h; mililitros por batida (ml/bat); Vazão perdida (VP) em (L/s).

Fontes de Variação	VD	PSC	PCC	PBS	VB	ml/bat	VP
Bloco	2,333 ^{ns}	1,000 ^{ns}	0,641 ^{ns}	2,326 ^{ns}	0,469 ^{ns}	0,608 ^{ns}	0,494 ^{ns}
Altura (A)	1,504 ^{ns}	1,000 ^{ns}	14,829 ^{**}	39,509 ^{**}	22,419 ^{**}	16,593 [*]	35,563 ^{**}
Tratamento (T)	0,622 ^{ns}	1,000 ^{ns}	4,841 [*]	53,182 ^{**}	0,005 ^{ns}	0,489 ^{ns}	31,449 ^{**}
A x T	0,104 ^{ns}	1,000 ^{ns}	1,668 ^{ns}	0,0031 [*]	3,330 [*]	4,076 [*]	4,504 [*]
CV(%)	4,67	5,95	6,28	4,46	16,97	16,12	10
Média Geral	0,639	4,177	13,957	15,987	95,064	36,52	0,173

*5% de significância; **1% de significância; ^{ns} Não significativo

Observa-se que as variáveis VD e PSC não apresentaram diferença significativa, comprovando que os 2 carneiros estavam em situações semelhantes para o funcionamento, pois foi mantida a mesma vazão e pressão para os dois equipamentos ao longo de todo o experimento.

Na variável PCC nota-se na Tabela 5 que houve diferença significativa tanto para Altura como para Tratamento, com 1% e 5% de significância, respectivamente. Observando a Tabela 6, as alturas de 10 e 11 metros apresentaram maior pressão, tal resultado já era esperado, visto que para bombear em maior altura é necessária maior pressão. Observa-se com a Tabela 7 e o gráfico (Figura 16) uma maior pressão de saída no carneiro padrão. Já se esperava que a variável PCC do carneiro protótipo fosse menor, visto que a válvula de

retenção horizontal reteria parte dessa pressão causando uma perda localizada de carga.

Tabela 6: Dados médios de pressão na entrada do carneiro em funcionamento (PCC) para as 4 alturas de bombeamento avaliadas, em mca.

Tratamentos	Médias
8,0 m	13,176843 b
9,0 m	12,781100 b
10,0 m	14,510649 a
11,0 m	15,360769 a

Médias seguidas de letras distintas minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

Tabela 7: Dados médios de pressão na entrada do carneiro em funcionamento (PCC) para os 2 carneiros avaliados, em mca.

Tratamento	Média
Protótipo	13,616560 b
Padrão	14,298120 a

Médias seguidas de letras distintas minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

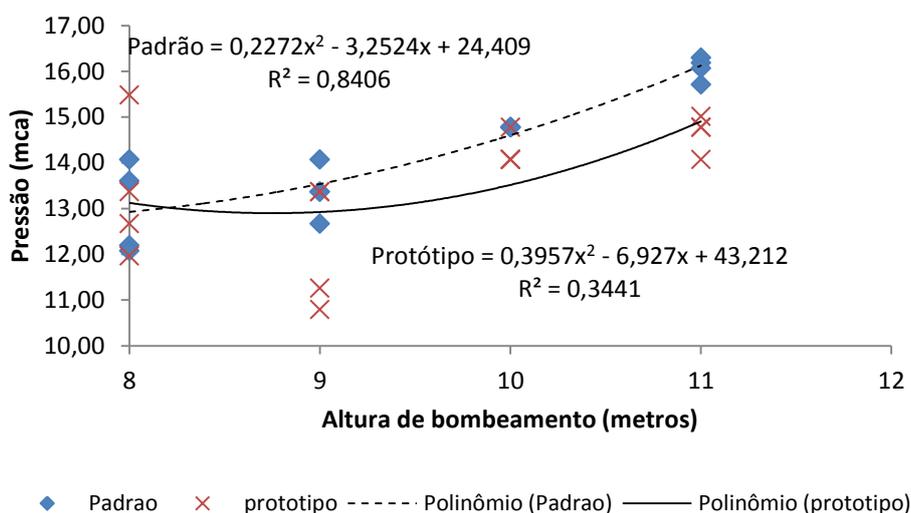


Figura 16: Gráfico de pressão na entrada do carneiro em funcionamento (PCC) em função da Altura de bombeamento para os dois equipamentos. (Fonte: Autoria própria)

Para a variável PBS houve diferença para Altura e Tratamento com interação significativa a nível de 1% de significância (Tabela 5). Analisa-se pela Tabela 8 assim como no gráfico (Figura 17), que o carneiro padrão obteve uma melhor resposta, sendo superior em quase todas as alturas analisadas, somente na altura de 8 metros não se obteve diferença significativa. Esperava-se que a pressão de saída do carneiro protótipo fosse superior, onde a válvula de retenção horizontal redirecionaria a pressão do golpe de aríete na entrada do carneiro para a saída, fato que não se concretizou com a condução do experimento.

Tabela 8: Dados médios da interação entre Altura e Tratamento para a variável pressão de bombeamento na saída do carneiro (PBS) em mca.

Tratamento	-----Médias-----			
	8,0m	9,0m	10,0m	11,0m
Protótipo	14,422708 Ba	14,422705 Bb	14,774480 Bb	16,650603 Ab
Padrão	14,803793 Ca	15,595285 Ca	17,588670 Ba	19,640678 Aa

Médias seguidas de letras distintas maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

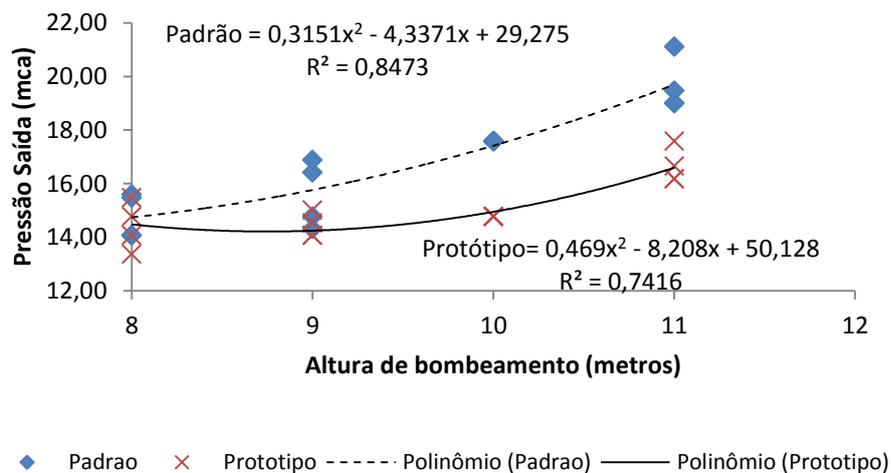


Figura 17: Gráfico de pressão de bombeamento na saída do carneiro (PBS) em função da Altura de bombeamento para os dois equipamentos. (Fonte: Autoria própria)

A variável VB resultou em diferença significativa para Altura com 1% de significância e apresentando interação significativa com Tratamento (Tabela 5). Observa-se pela Tabela 9 que o carneiro protótipo obteve uma vazão superior na altura 9 metros. A frequência de batida do carneiro está diretamente relacionado ao desempenho de bombeamento, como são 2 carneiros diferentes, a frequência de batida de um carneiro pode não ser a condição ideal do outro, explicando um melhor rendimento do carneiro protótipo na altura 9,0 metros, onde a frequência de batidas de 44 b/min (Tabela 13) pode ser uma condição mais favorável comparado ao carneiro padrão. O inverso também pode ser afirmado, onde o carneiro protótipo pode ter trabalhado em outras alturas em condições mais desfavoráveis. Portanto, deve-se realizar um estudo para encontrar as melhores frequências de batidas em cada carneiro e assim fazê-los funcionar em sua máxima eficiência, diferentemente deste caso onde o objetivo foi manter os 2 carneiros com frequência de batidas parecidas.

Tem-se na Tabela 9 o volume bombeado inferior ao observado por Cararo (2007), onde em seu estudo em altura de recalque de 10 m observou um bombeamento de recalque

mínimo de 115,2 L/h e máximo de 481,2 L/h, porém a tubulação de sucção utilizada em seu experimento foi de aço galvanizado de 50 mm a 4,37 metros de desnível, onde segundo estudo de Abate & Botrel (2000) a tubulação de aço na altura 4,7 metros obteve um rendimento superior. Neste presente estudo foi utilizada tubulação de sucção de polietileno, portanto já era esperado um volume bombeado inferior.

Observa-se no gráfico (Figura 18) uma queda de vazão mais acentuada no carneiro protótipo conforme ocorreu o aumento na altura de bombeamento, mesmo resultado obtido no gráfico (Figura 19).

Nota-se que para altura de 11 metros, uma inferioridade no rendimento do carneiro protótipo Tabela 10, contudo não se observou diferença estatística significativa em relação ao total de volume bombeado pelo protótipo (Tabela 9).

Tabela 9: Dados médios da interação entre Altura e Tratamento para a variável vazão bombeada (VB) em L/h.

Tratamento	-----Médias-----			
	8,0m	9,0m	10,0m	11,0m
Protótipo	125,592717 Aa	122,391580 Aa	75,027450 Ba	58,020952 Ba
Padrão	127,622583 Aa	92,251003 Bb	84,139095 Ba	75,468293 Ba

Médias seguidas de letras distintas maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$)

Tabela 10: Dados médios da interação entre Altura e Tratamento para a variável mililitros por batida (ml/bat) em ml/bat.

Tratamento	-----Médias-----			
	8,0m	9,0m	10,0m	11,0m
Protótipo	48,629680 Aa	45,664820 Aa	31,931618 Ba	22,797732 Ca
Padrão	43,498170 Aa	34,184883 Bb	35,887287 Ba	29,628290 Ba

Médias seguidas de letras distintas maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$)

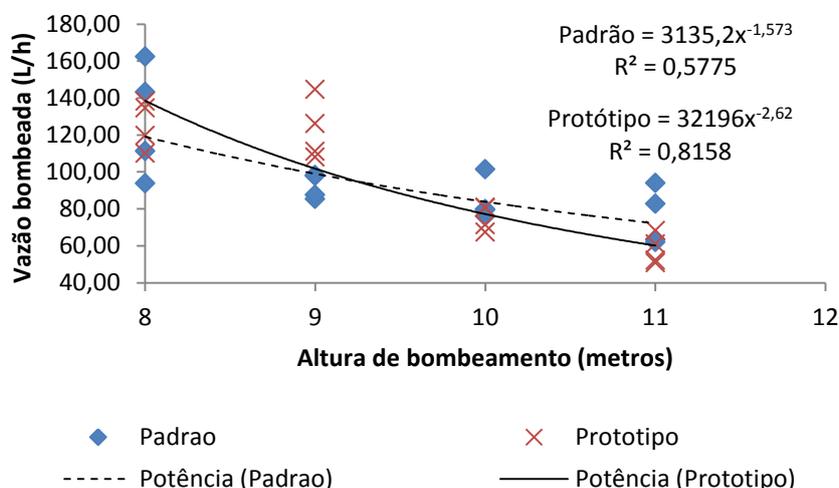


Figura 18: Gráfico de vazão bombeada (VB) em função da Altura de bombeamento para os dois equipamentos. (Fonte: Autoria própria)

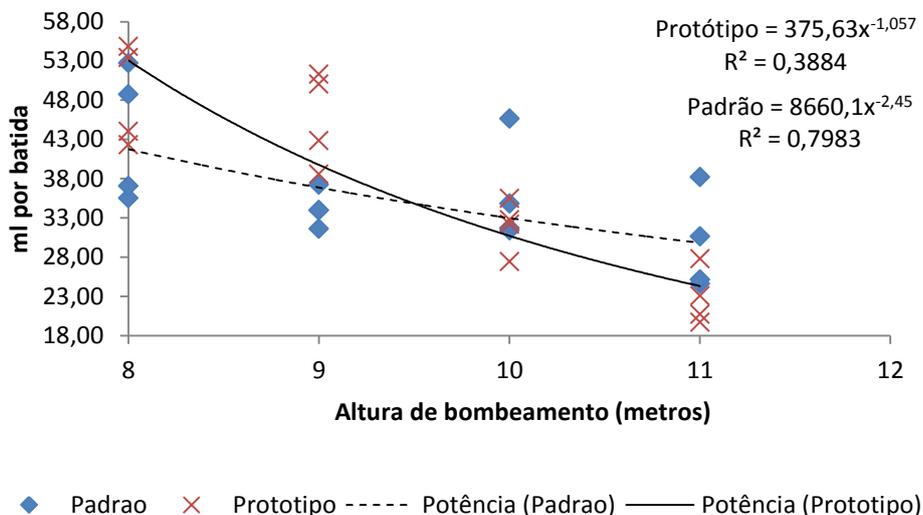


Figura 19: Gráfico de volume bombeado por batida (ml/bat) em função da Altura de bombeamento para os dois equipamentos. (Fonte: Autoria própria)

Estatisticamente, para a variável VP houve diferença para Altura e Tratamento com interação significativa a nível de 1% de significância (Tabela 5). Na variável vazão perdida (VP) nota-se pela Tabela 11 que o carneiro protótipo necessitou de mais água para realizar o bombeamento, o que pode ser explicado pela válvula de retenção horizontal, que ao se fechar, faz com que a água na tubulação perca velocidade, assim demandando mais água para voltar a acelerar e conseguir fechar novamente a válvula de batida. Observou-se também um pico de consumo na altura 10 metros para o carneiro protótipo, isso devido ao ritmo de batida de 39 b/min observada na Tabela 13, pois quanto menor o ritmo de batida mais água passa pela válvula de batida aumentando o consumo.

Tabela 11: Dados médios da interação entre Altura e Tratamento para a variável vazão perdida (VP) em L/s.

Tratamento	-----Médias-----			
	8,0m	9,0m	10,0m	11,0m
Protótipo	0,122500 Ca	0,200000 Ba	0,240000 Aa	0,200000 Ba
Padrão	0,123333 Ba	0,154165 Ab	0,180000 Ab	0,167500 Ab

Médias seguidas de letras distintas maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$)

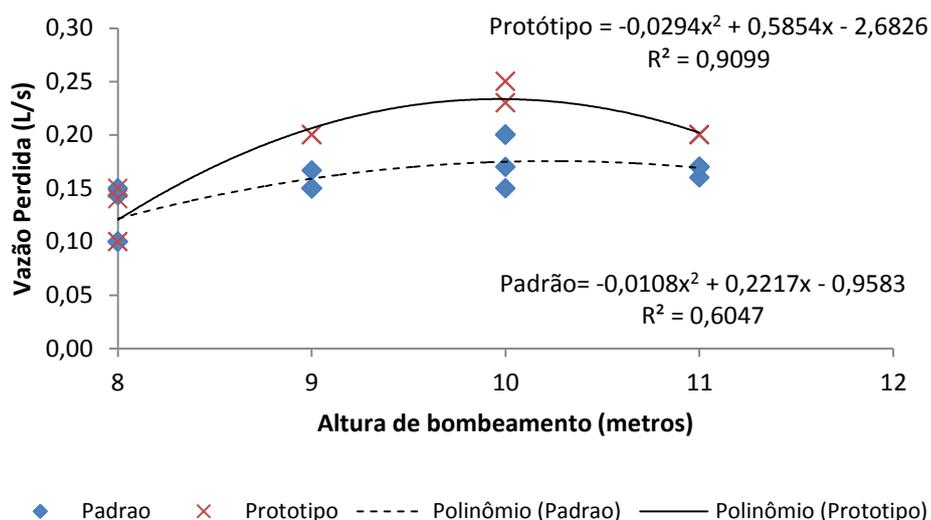


Figura 20: Gráfico de vazão perdida (L/s) em função da Altura de bombeamento para os dois equipamentos. (Fonte: Autoria própria)

Na Tabela 12 está representado o resumo da análise de variância dos fatores relacionados ao número de batidas, volume perdido por batida, rendimento de uso da água, e também rendimento econômico.

Na variável B/min ocorreu diferença significativa apenas para Altura de bombeamento, com 1% de significância. Como observado na Tabela 13, nota-se que na altura 10 metros a média do número de batidas foi menor, influenciando também no volume perdido do carneiro protótipo. Analisando o gráfico (Figura 13) em comparação com o gráfico (Figura 12) observa-se que são características opostas, quanto maior a frequência das batida, menor o consumo de água.

Tabela 12: Resumo da análise de variância para as variáveis relacionadas com número de batidas por minuto (B/min) em batidas/minuto; Volume perdido por batida (Volume perdido por batida) em L/batida; rendimento de uso da água (RUA); rendimento econômico (RE) em (L/s)/R\$.

Fontes de Variação	B/min	UA	RUA	RE
Bloco	1,130 ^{ns}	1,267 ^{ns}	0,980 ^{ns}	0,324 ^{ns}
Altura (A)	13,373**	38,256**	135,221**	16,897**
Tratamento (T)	3,225 ^{ns}	26,128**	10,590**	33,533**
A x T	2,750 ^{ns}	1,984 ^{ns}	4,475*	1,883 ^{ns}
CV(%)	5,25	12,39	10,57	18,77
Média Geral	43,135	0,245	0,139	0,723

* 5% de significância **1% de significância^{ns} Não significativo

No estudo de Cararo (2007) o que pode também ter influenciado em sua maior vazão bombeada além da tubulação de aço galvanizado, seu estudo foi regulado com uma frequência de batidas em geral acima de 60 batidas/min, podendo ter também influência em sua eficiência.

Tabela 13: Dados médios de número de batidas por minuto para as 4 alturas de bombeamento avaliadas em bat/min.

Tratamentos	Médias
8,0 m	45,874999 a
9,0 m	44,875000 a
10,0 m	39,291666 c
11,0 m	42,500000 b

Médias seguidas de letras distintas minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$)

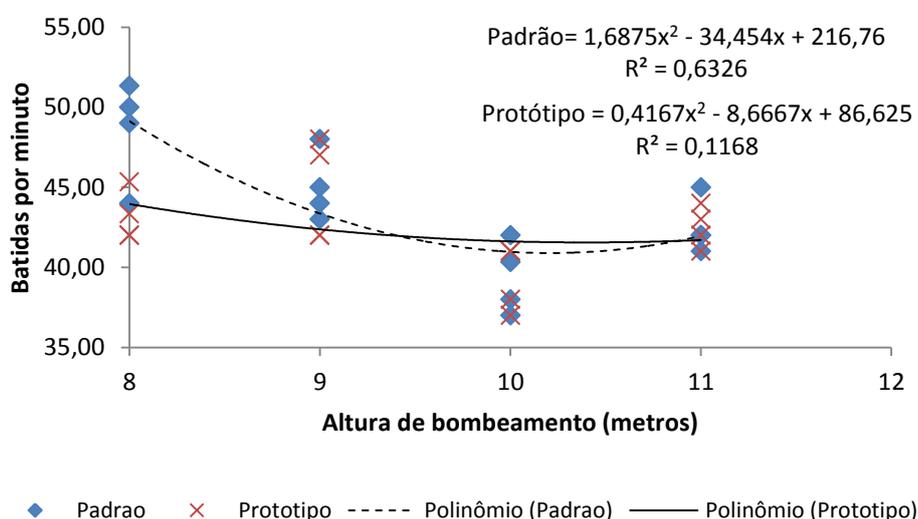


Figura 21: Gráfico de número de batidas por minuto (Bat/min) em função da Altura de bombeamento para os dois equipamentos. (Fonte: Autoria própria)

O volume perdido por batida (VPB) diferenciou-se significativamente tanto para Altura como para Tratamento com nível de 1% de significância sem apresentar interação entre as fontes de variação (Tabela 12). Observa-se pelo gráfico (Figura 22) e pela Tabela 14 que a altura que se obteve maior consumo de água por batida, foi a altura de 10 metros, que como mostrado na Tabela 11, o consumo de água por batida para manter o sistema em funcionamento constante foi de 0,32 L/bat, valor muito superior em relação as outras alturas que ficaram abaixo de 0,25 L/bat. Isso se deve, principalmente, pela frequência de batida de 39 bat/min nesta altura, demonstrando que essa frequência de batida não é a mais adequada para este caso.

Observa-se também que o carneiro protótipo obteve um consumo maior de água (Tabela 15)

Tabela 14: Dados médios de volume perdido por batida (VPB) para as 4 alturas de bombeamento avaliadas em L/bat.

Tratamentos	Médias
8,0 m	0,161535 c
9,0 m	0,237600 b
10,0 m	0,322570 a
11,0 m	0,259748 b

Médias seguidas de letras distintas minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (P<0,05)

Tabela 15: Dados médios de volume perdido por batida (VPB) para os 2 carneiros avaliados em ml/bat.

Tratamento	Média
Protótipo	0,272830 a
Padrão	0,217896 b

Médias seguidas de letras distintas minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (P<0,05)

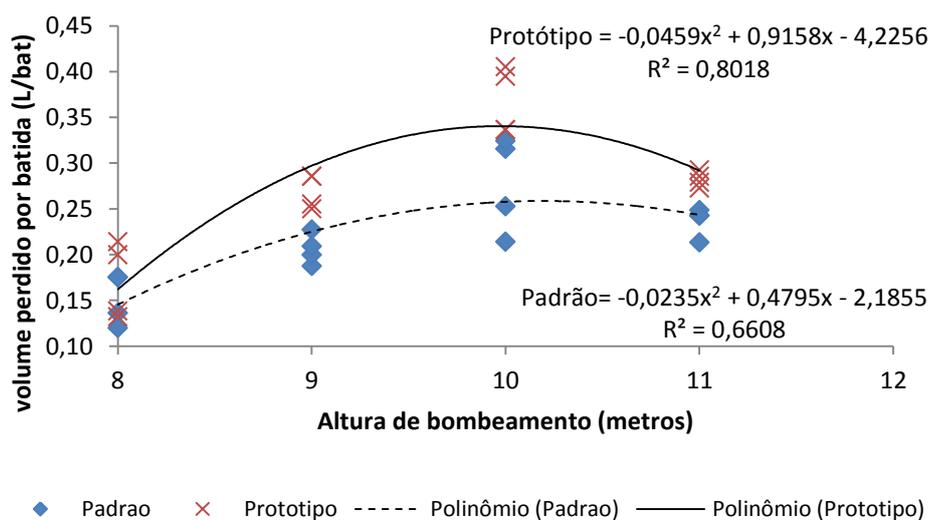


Figura 22: Gráfico de volume perdido por batida (VPB) (L/bat) em função da Altura de bombeamento para os dois equipamentos. (Fonte: Autoria própria)

O rendimento no uso da água (RUA) foi significativamente diferente tanto para Altura como para Tratamento com interação significativa a nível de 1% de significância (Tabela 12). Na Tabela 16 e gráfico (Figura 23) observa-se que a melhor eficiência para todas as alturas avaliadas se dá com o carneiro padrão. Mesmo que na altura de 9 metros o carneiro protótipo tenha bombeado um volume superior de água (Tabela 10) comparada ao carneiro padrão, o volume de água perdida também foi superior na comparação, não gerando um ganho de rendimento. Em termos gerais de rendimento, nota-se que a eficiência dos 2

carneiros foram iguais para as alturas de 8 e 9 metros, sendo o carneiro padrão superior nas demais alturas.

Tabela 16: Dados médios da interação entre Altura e Tratamento para a variável rendimento de uso da água (RUA) em %.

Tratamento	-----Médias-----			
	8,0 m	9,0 m	10,0 m	11,0 m
Protótipo	0,224483 Aa	0,145035 Ba	0,079940 Cb	0,074495 Cb
Padrão	0,222735 Aa	0,142523 Ba	0,115485 Ca	0,111060 Ca

Médias seguidas de letras distintas maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$)

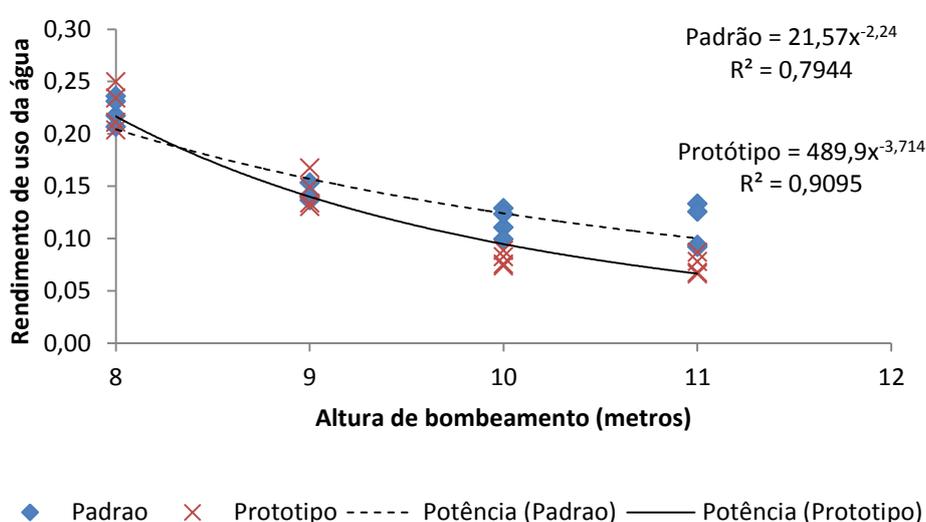


Figura 23: Gráfico de Rendimento de uso da água em função da Altura de bombeamento para os dois equipamentos. (Fonte: Autoria própria)

Por fim, analisando a questão econômica, o rendimento econômico (RE) diferenciou significativamente tanto para Altura como para Tratamento com nível de 1% de significância sem apresentar interação entre as fontes de variação (Tabela 12). Observa-se na Tabela 17 e gráfico (Figura 24) que o rendimento econômico é superior nos dois carneiros quando aplicada a altura de 8 metros, devido principalmente, ao volume bombeado nessa altura ter sido superior quando comparado as demais. O carneiro protótipo por ter um custo maior em função da válvula adicional e por não apresentar maior eficiência de bombeamento, resultou em uma relação custo/benefício desfavorável quando comparado com o carneiro padrão (Tabela 18).

Tabela 17: Dados médios de rendimento econômico (RE) para as 4 alturas de bombeamento avaliadas em (L/dia)/R\$.

Tratamentos	Médias
8	0,965354 a
9	0,794751 b
10	0,612591 c
11	0,521010 c

Médias seguidas de letras distintas minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$)

Tabela 18: Dados médios de rendimento econômico (RE) para os 2 carneiros avaliados em (L/dia)/R\$.

Tratamento	Média
Protótipo	0,584401 b
Padrão	0,862452 a

Médias seguidas de letras distintas minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$)

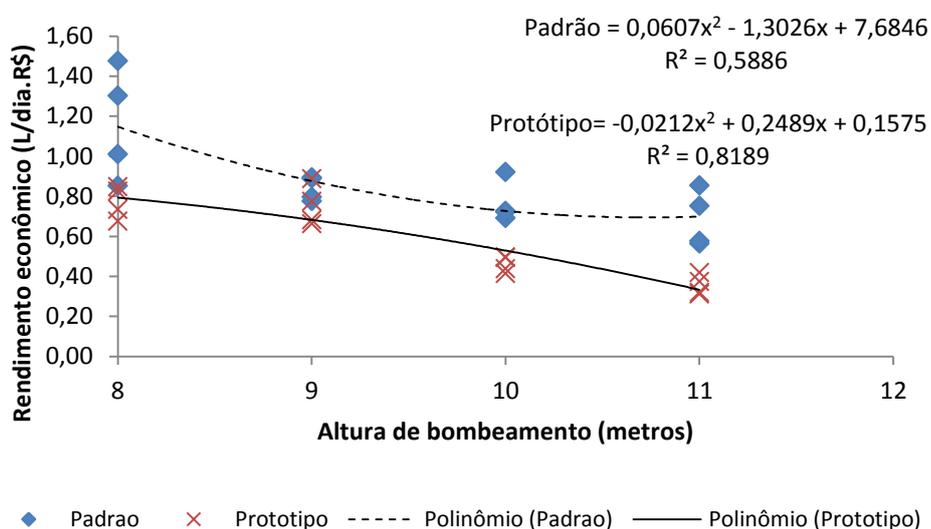


Figura 24: Gráfico de Rendimento econômico (%) em função da Altura de bombeamento para os dois equipamentos. (Fonte: Autoria própria)

5.CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos de acordo com as condições experimentais, podemos concluir que a inclusão de uma válvula de retenção no carneiro protótipo não gerou um aumento de rendimento em altura de bombeamento. Com a inclusão da válvula de retenção não houve aumento de pressão interna nem variações no funcionamento do equipamento que levassem a ocorrência de danos mecânicos ou vazamentos.

Quanto a relação custo benefício, o aumento de aproximadamente R\$ 53,00 para construção do protótipo não levou ao aumento de rendimento do sistema, prejudicando a relação custo benefício para condições estudadas.

Cada equipamento apresenta uma regulagem no número de batidas por minuto que resulta em um melhor rendimento. Portanto, deve-se buscar a regulagem adequada para que cada equipamento trabalhe dentro da sua faixa de máxima eficiência.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABATE, Caroline; BOTREL, Tarlei Arriel. **Avaliação do desempenho de um carneiro hidráulico com tubulação de alimentação em aço galvanizado e PVC**. V.59., n 1, Piracicaba – SP: Scientia Agricola, 2000.197-203p.

AZEVEDO NETO, Jose Martiniano; FERNANDEZ, Miguel Fernandez y; ARAÚJO, Roberto; ITO, Acácio Eiji. **Manual de hidráulica**. 8. ed. São Paulo. Ed.Edgard Blücher, 1998. 669 p.

BROWNE, Dominique. **Design, sizing, construction and maintence of gravity – fed system in rural areas**; module 6: hydraulic ram pump systems. Indonesia. Ed. Action contre la faim, 2008. 67p.

CARARO, Denis C.; DAMASCENO, Flávio A.; GRIFFANTE, Greta; ALVARENGA, Livia A. **Características construtivas de um carneiro hidráulico com amateriais alternativos**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v. 11, n.4, Campina Grande- PB, 2007, p. 349- 354

CARVALHO, Jacinto de Assunção; OLIVEIRA, Luiz Fernando Coutinho de. **Instalações de bombeamento para irrigação**. 1. ed. Lavras/MG: Editora UFLA. 2008. 354p.

FERREIRA, Daniel Furtado. **Sisvar**: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. Ciênc. Agrotec[online]. 2014, vol. 38, n. 2 [citado 2015-10-17] pp.109-112 . Disponível em: ISSN 1413 – 7054. <http://dx.doi.org/10.1590/S141370542014000200001>

GIRARD, Lúcia; GIORDANI, Rubie José; **Implantação do carneiro hidráulico nas propriedades dos alunos da escola estadual técnica agrícola Guaporé**; Guaporé, 2008 42p.

GOMES FILHO, Raimundo Rodrigues; TEIXEIRA, Marconi Batista ; COSTA, Carlos Alexandre Gomes ; SOUZA, Rodrigo Otávio Rodrigues de Melo ; SCALOPPI, Edmar José ; ARMINDO, Robson André ; ROMAN, R. M. S. ; MIRANDA, Eugênio Paceli de . **Hidráulica Aplicada às Ciências Agrárias**. 1. ed. Goiânia: América, 2013. v. 1. 254 p

MAEDA, Leonardo Kenji; **Análise de sistemas alternativos de bombeamento, condução de água e irrigação**: estudo de caso a horta municipal de São Carlos. 2010. 114 f. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Ambiental – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - São Carlos, 2010

REVISTA GLOBO RURAL, **Como fazer um carneiro hidráulico** , 14 de maio de 2015, disponível em <http://revistagloborural.globo.com/vida-na-fazenda/noticia/2015/05/como-fazer-o-carneiro-hidraulico.html> acessado em: 20/05/2016

TIAGO FILHO, Geraldo Lúcio; **Carneiro Hidráulico**: O que é e como produzi-lo. CERPCH (Centro Nacional de Referência em Pequenos Aproveitamentos Hidro energéticos), Itajubá, MG, 2002. 8p.

WATT, S.B. **A manual on the hydraulic ram for pumping water**. Londres. Editora intermediate technology. 1975. 35p.