



UFRPE

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL**

NATALICE DE ANDRADE MUNIZ COSTA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO

**RECIFE
2019.1**



NATALICE DE ANDRADE MUNIZ COSTA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO

ADOÇÃO DO CARNEIRO HIDRÁULICO PARA ESTUDO DIDÁTICO

Relatório apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco Pernambuco, como pré-requisito para obtenção de nota da disciplina Estágio Supervisionado Obrigatório, sob orientação do Professor Abelardo Antonio de Assunção Montenegro.

RECIFE
2019.1

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

C837a Costa, Natalice de Andrade Muniz
Adoção do carneiro hidráulico para estudo didático / Natalice de
Andrade Muniz Costa. - 2019.
47 f.: il.

Orientador: Abelardo Antonio de Assunção Montenegro.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia
Agrícola e Ambiental) – Universidade Federal Rural de
Pernambuco, Departamento de Engenharia Agrícola, Recife,
BR-PE, 2019.

Inclui referências e apêndice(s).

1. Abastecimento de água 2. Golpe de ariete 3. Prática de
ensino I. Montenegro, Abelardo Antonio de Assunção, orient.
II. Título

CDD 631

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO

ADOÇÃO DO CARNEIRO HIDRÁULICO PARA ESTUDO DIDÁTICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus por todas as bênçãos e aos meus pais que me apoiaram durante essa jornada, que tiveram paciência e me auxiliaram da melhor forma para que eu conseguisse terminar esse ciclo da minha vida.

Meus agradecimentos aos professores Abelardo Antonio de Assunção Montenegro, Egídio Bezerra Neto, José Benjamin Machado Coelho e Manassés Mesquita da Silva que me guiaram e me orientaram durante o tempo que percorri dentro da Universidade, possibilitando expandir meus conhecimentos não só teórico e prático, mas de crescimento pessoal.

Minhas felicitações aos meus colegas de sala de aula que percorreram esse caminho comigo, em especial a Djayana Karla e Laís Albina que estiveram juntas comigo nos momentos mais críticos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas da metodologia ativa	13
Figura 2 – Amostra do carneiro industrial (A) e artesanal (B)	16
Figura 3 – Efeitos do Golpe de Aríete	22
Figura 4 - Modelo do primeiro carneiro hidráulico	23
Figura 5 - Modelo do carneiro hidráulico adaptado pelos irmãos Montgolfier	24
Figura 6 - Esquema do sistema integrado do carneiro hidráulico	27
Figura 7 - Aula prática do galpão de máquinas da UFRPE	31
Figura 8- Construção do carneiro hidráulico	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Avaliação da vazão com os diâmetros de entrada e saída	29
Tabela 2- Materiais usados para a construção do carneiro	33
Tabela 3- Valores do Coeficiente do módulo de elasticidade	34
Tabela 4- Aproveitamento do Carneiro em relação à proporção das alturas	37
Tabela 5- Volume gerado com as alturas de recalque e sucção	38
Tabela 6- Valores da Celeridade para diversos materiais	40

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AIE - Agência Internacional de Energia

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

CERPCH – Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais

Hidrelétricas

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ITB - Instituto Trata Brasil

NBR - Norma Brasileira Registrada

ONU – Organização das Nações Unidas

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo geral	12
2.2 Objetivos específicos	12
3. REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1 Metodologia ativa	13
3.2 Problemática	14
3.3 Conceitos básicos	17
3.3.1 Hidráulica	17
3.3.2 Fluídos	17
3.3.3 Fluido incompressível	17
3.3.4 Viscosidade.....	17
3.3.5 Número de Reynolds.....	18
3.3.6 Energia.....	18
3.3.7 Pressão	19
3.3.8 Vazão ou descarga	19
3.3.9 Perda de carga.....	20
3.3.10 Princípio de conservação de energia	20
3.3.11 Transiente hidráulico	20
3.3.12 Golpe de aríete	21
3.4 Funcionamento do carneiro hidráulico	23
3.5 Função dos componentes do carneiro hidráulico	26
3.6 Recomendações	28
3.7 Aplicações do carneiro	29
4. METODOLOGIA	30
4.1 Área de estudo	36
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
APÊNDICES	45

RESUMO

Nas regiões rurais do Brasil, principalmente no nordeste, a população enfrenta grandes adversidades relacionadas com a falta de abastecimento de água e de energia elétrica. O objetivo do trabalho é estimular nos alunos de Engenharia Agrícola e Ambiental da UFRPE um pensamento mais crítico acerca das condições de trabalho do meio rural. Para isso, foi exposto o tema carneiro hidráulico, por meio da metodologia ativa, como assunto do conteúdo transiente hidráulico em conduto forçado, da disciplina de Hidráulica Aplicada. O Carneiro é um dispositivo capaz de recalcar água de um ambiente para outro, por meio da ação da gravidade, sem utilização de uma fonte de bomba movida à energia elétrica. O experimento foi conduzido no Galpão de Máquinas da UFRPE onde os alunos puderam participar do processo construtivo do dispositivo. O Carneiro foi construído com material de PVC e apresentou uma eficiência em torno de 26% e vazão de 1,05 l/s para uma altura de recalque de 1,90 m. Portanto, o equipamento é uma alternativa sustentável e eficiente para a substituição do Carneiro Industrial, visto que não traz prejuízos à natureza e, além disso, é de baixo preço de aquisição e de fácil acesso comercial, além de dispensar fontes externas de energia.

Palavras-chave: Abastecimento de água, Golpe de Aríete e metodologia ativa.

1. INTRODUÇÃO

A metodologia ativa é um termo que vem sendo discutido no Brasil desde 1930, tendo sido formulada pelo pedagogo John Dewey e introduzida no Brasil pelos escritores Fernando Azevedo e Anísio Teixeira. Consiste em um método de ensino que enfatiza a importância de um conhecimento formado por meio da experiência prática, correlacionando o assunto ministrado em sala de aula com uma problemática existente na sua profissão. O objetivo é fazer com que o aluno consiga argumentar sobre diversos assuntos, de modo que contribua para sua formação profissional e social.

O ensino dentro das instituições deve ser mesclado com a utilização de aulas práticas e teóricas. Os alunos devem participar do processo construtivo dos sistemas hidráulicos para que possam adquirir maior aprendizado, por consequência, isso mantém o interesse dos alunos sobre os temas discutidos em sala de aula.

Segundo Araújo (2009), a aprendizagem deve ser baseada com a introdução de temas que tragam uma problemática, devendo os alunos estar inseridos em projetos. A proposta deve propiciar aos discentes uma formação coerente acerca do trabalho em que deverão atuar no futuro. Logo, é de grande importância que os alunos sejam instigados a conhecer profundamente as condições do seu meio de trabalho, ou seja, estejam cientes das problemáticas do setor rural, de modo a proporem alternativas viáveis para o desenvolvimento dos pequenos agricultores.

De acordo com dados de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE), cerca de 32,34 milhões de brasileiros não possuem acesso à rede de distribuição de água. A obtenção de água é feita por meio da construção de cisternas, poço artesanal e carros-pipa. Além disso, nas regiões rurais é usada a técnica de calçadão para captação de água da chuva.

Os produtores rurais principalmente das regiões do agreste e do sertão nordestino sofrem com problemas de abastecimento e captação de água. O uso de tecnologias de baixo custo permite que o agricultor possa desenvolver suas atividades e assim obter sua renda.

Portanto, como ferramenta didática do conteúdo de escoamento transitório em conduto forçado foi apresentado aos alunos do sexto período de Engenharia Agrícola e Ambiental da UFRPE, o Carneiro Hidráulico como parte do conteúdo da disciplina de Hidráulica Aplicada.

O carneiro hidráulico é um dispositivo de captação e elevação de água, sem uso de energia elétrica. O sistema é de baixo custo e funciona por meio do Golpe de Aríete, ou seja, sucessivos impactos de ondas de pressão sobre uma tubulação, decorrente do fechamento brusco de válvulas.

O dispositivo é uma alternativa artesanal do carneiro industrial. Portanto, é possível construir o sistema com a utilização de peças de fácil acesso comercial. O carneiro industrial além de utilizar energia elétrica, faz uso de combustíveis fósseis, diante das temáticas atuais sobre sustentabilidade e preservação do meio ambiente, a alternativa parece bastante promissora.

Segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) de 2016, cerca de 11 milhões de pessoas vivem sem energia elétrica no Brasil. As regiões rurais do Nordeste são as que mais sofrem com a falta de abastecimento de água. Sem energia o produtor tem que se deslocar quilômetros para obter água e mesmo assim é para uso residencial, sendo impedidos de desempenhar suas atividades agrícolas. O Carneiro Hidráulico é, portanto, uma alternativa viável principalmente para locais onde o fornecimento de energia elétrica é limitado.

O dispositivo apresenta algumas inconveniências como produzir ruído devido aos Golpes de Aríete que ocorrem sobre a válvula de retenção, a vazão do sistema é influenciada pela razão entre a linha de recalque e a de alimentação, ou seja, terrenos com pouco declive tende a ter uma eficiência menor, além disso, uma parte do volume de água é desperdiçada.

Em contrapartida, o Carneiro Hidráulico possui alguns benefícios, pois como não exige mão de obra qualificada, o equipamento opera sozinho depois de instalado, não necessita de uma fonte de energia elétrica ou de uma casa de bombas, pode funcionar o dia todo, o custo de produção é baixo, é uma energia limpa, já que não gera prejuízos para a natureza.

Diante de seus benefícios, a proposta do trabalho foi despertar o interesse dos alunos da Graduação de Engenharia Agrícola e Ambiental da UFRPE sobre a importância de desenvolver tecnologias de baixo custo que atendam aos pequenos agricultores e comunidades rurais.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Instigar o senso crítico dos alunos sobre as necessidades do setor rural, enfatizando o seu papel quanto profissional da área, e mostrar a importância de um ensino mais prático nas instituições como ferramenta de aprendizagem, de modo que haja interação com as comunidades rurais.

2.2. Objetivos Específicos

O estudo foi desenvolvido em três etapas fundamentais:

- Conteúdo teórico

Incentivar o interesse dos alunos sobre a necessidade da aprendizagem contínua, por meio de atividades desenvolvidas em sala de aula utilizando ferramentas digitais ou trabalho em grupo para interação dos mesmos, dessa forma os conteúdos ministrados serviram de base para o entendimento da aula prática.

- Conteúdo prático

Conscientizar os discentes sobre a importância de tecnologias acessíveis, por meio de aulas práticas onde o aluno participa ativamente da construção do Carneiro Hidráulico. O aluno deve compreender a funcionalidade do dispositivo, de modo que possa mais tarde aplicar na sua área de trabalho,

- Questionário

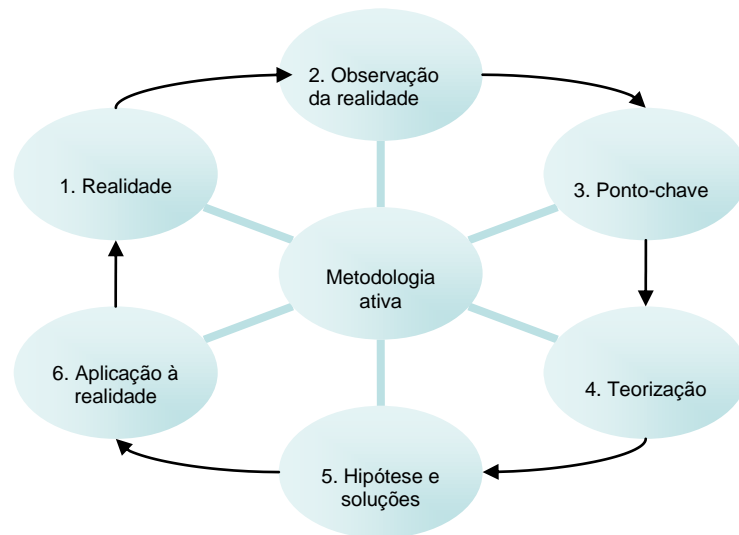
Identificar as dificuldades que os alunos têm sobre o conteúdo ministrado, além de avaliar a metodologia de ensino abordado pela instituição. A partir disso, o professor pode criar junto com os alunos, alternativas melhores para obter um resultado satisfatório de aprendizagem.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Metodologia ativa

Segundo Macedo (2018), o arco proposto por Charles Maguerez fundamenta-se no princípio de implantação da metodologia ativa, onde são estabelecidas seis diretrizes que auxiliam na formação do aluno dentro e fora das instituições de ensino (Figura 1).

Figura 1 - Etapas da metodologia ativa



Fonte: Pereira (1989), adaptado por Macedo (2018)

A primeira etapa é estabelecer a realidade, isto é, definir área de estudo. Conforme Gomes (2010), a construção ativa do conhecimento é feita por meio da vivência de situações reais ou simuladas da prática profissional.

Conforme Marinho (2013), a observação da realidade é a etapa que objetiva estimular nos alunos um pensamento crítico de modo que eles identifiquem as principais dificuldades e carências da área em estudo, podendo o professor orientar este processo por perguntas gerais que ajudem a focalizar e não fugir do tema, ou então realizar visita às comunidades rurais de modo que os alunos consigam identificar por conta própria às condições da região.

De acordo com Freire (2004), citado na lição de Gomes (2010), identificar uma situação problemática é um método adverso ao que é exposto pelo ensino

tradicional, ou seja, de não operar na lógica da transferência de informações ou conhecimentos, mas em propor situações rotineiras que criem possibilidades de produção e construção social ou individual.

A etapa de pontos-chave é onde os alunos vão definir as principais causas que levaram à problemática. Portanto, é estabelecer pontos que servirão de base para o estudo, de modo a compreender e estabelecer táticas que permitam a solução do problema. A teorização é o ensino dos conteúdos e da interdisciplinaridade que servirão como guia para solucionar a problemática. O aluno deve correlacionar o assunto dado com os pontos-chave. Essa etapa deve ocorrer com a realização de projetos científicos, estimulando o trabalho coletivo.

Segundo Macedo (2018), a metodologia ativa mescla o processo de ensino-aprendizagem, onde o conhecimento é compartilhado entre os docentes e os estudantes, para isso, o professor deve estar ciente do grau de aprendizagem do aluno, de modo a estimulá-lo a incorporar novos conhecimentos.

De acordo com Marinho (2013), os alunos devem ser capazes de levantar hipóteses com base no conhecimento adquirido sobre a temática. O estudo até essa etapa deve permitir ao aluno ferramentas para que possa propor alternativas para solucionar o problema. Por fim, a última etapa consiste em pôr em prática as soluções propostas, seja nas comunidades agrícolas ou dentro da Universidade.

A metodologia ativa não só permite desenvolver a habilidade intelectual, mas o caráter social e político. O professor deve estimular o interesse do aluno por meio do convívio prático dos temas discutidos, propondo subsídios para a formação de um profissional mais crítico e reflexivo.

3.2 Problemática

Segundo Filho (2007), desde a Idade Antiga o homem vem criando tecnologias que permitam retirar água dos rios e reservatórios, por meio da energia proveniente da movimentação, ou seja, do trabalho gerado. O primeiro mecanismo criado foi a roda Persa que era constituída de um eixo horizontal contendo calhas, onde a água era captada, para acionar o sistema fazia uso de cavalos ou burros, à medida que foi aperfeiçoando a tecnologia, não foi preciso fazer uso de animais, a roda era movimentada pela própria energia do escoamento.

As primeiras civilizações eram nômades, com o surgimento da agricultura as comunidades começavam a fixar em zonas próximas aos rios e onde os recursos naturais eram abrangentes. A água é o recurso mais valioso da terra, sendo que 0,007% da água doce existente no planeta são destinadas para o consumo humano.

Entretanto, essa substância não está distribuída de forma homogênea. Segundo o Instituto Trata Brasil (ITB) até 2018 foi registrado que na região norte do Brasil encontra-se 68,5% do recurso hídrico do país, no sudeste cerca de 6% e no nordeste 3,3%. Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2019 a população do Brasil está em torno dos 210 milhões, na região nordeste concentra-se 53 milhões de habitantes, destes, 25 milhões estão na zona rural, e apenas 27,8% tem acesso à rede de distribuição de água, e a qualidade ainda é péssima. Até agora é apontado que o problema só piora, já que são vigentes nas regiões desigualdades sociais, que abrangem questões relacionadas a fatores socioeconômicos, territoriais e políticos.

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), citado por Oliveira (2014), em 2025 cerca de dois terços da população mundial irá sofrer com falta de abastecimento de água, sendo que até 2014, cerca de 20% já não tem acesso à água potável, isso se deve ao aumento populacional, à má distribuição e ao modelo consumista desenfreado, que vem degradando cada vez mais os recursos naturais.

Normalmente a obtenção de água nas regiões rurais semiáridas é feita por meio de abertura de poços, utilizando um sistema de motobombas movido à energia elétrica. Entretanto, o custo para obter a tecnologia não é tão acessível. Outro modo é a captação de água da chuva, com técnicas de cisternas calçadão, porém em locais onde a precipitação é baixa essa técnica é pouco eficiente, pois o volume coletado não supre a demanda nos períodos de estiagem.

De acordo com Araújo (2011), os meios de geração de renda no semiárido nordestino não atende a todos os habitantes, a fonte energética é suprida com o desmatamento do bioma caatinga, chegando a 30% de toda matriz energética. A caatinga se torna a principal fonte de sobrevivência nos períodos de estiagem. O manejo inadequado deste bioma contribui para aumentar o nível de gás carbônico na atmosfera, além de causar a perda da biodiversidade nativa, devido ao consumo predatório.

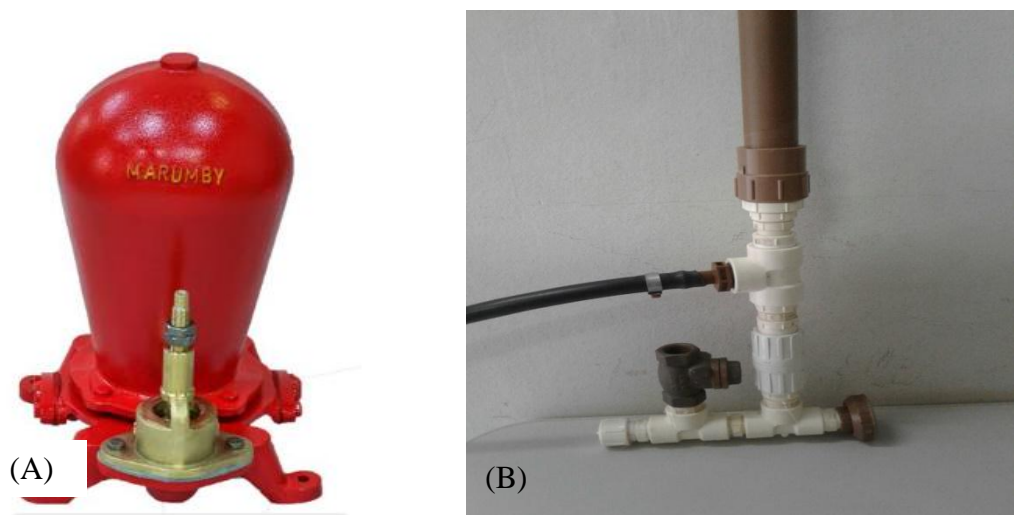
Segundo a Agência Internacional de Energia (AIE) citado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), a demanda energética atingirá

cerca de 25 TW em 2040. A ausência de energia elétrica gera pobreza e exclusão social para aqueles que vivem na zona rural brasileira. No entanto, a demanda por energias renováveis vem aumentando. Isso se deve ao novo modelo de consumo sustentável que vem sendo implantado e discutido em reuniões que acontecem pelo mundo, como na Rio-92 e na Conferência de Belgrado.

O Carneiro Hidráulico surge como uma fonte de energia renovável, atuando na diminuição do consumo de energia elétrica nas residências urbanas e propriedades rurais. Esse dispositivo é capaz de bombear água de reservatórios superficiais de forma econômica e sustentável, sem agredir o meio ambiente e sem fazer uso de energia elétrica.

As vantagens do carneiro artesanal sobre o industrial estão no baixo peso da estrutura, evitando mão de obra pesada, o material não enferruja, não causa danos à natureza por não utilizar combustíveis fósseis, não necessita de lubrificantes que podem contaminar rios e solos, não precisa de manutenção periódica, além de ser acessível e de fácil instalação. Dependendo da qualidade do manancial, a água pode ser usada para atividades agrícolas e usos domésticos (Figura 2).

Figura 2 - Amostra do carneiro industrial (A) e artesanal (B)



3.3 Conceitos básicos

O estudo detalhado é uma ferramenta para compreensão dos temas didáticos, para isso foi necessário estabelecer palavras-chaves que serviram como ponto de partida para o tema abordado. O objetivo final é que o aluno consiga maior compreensão e assimilação dos conteúdos.

3.3.1 Hidráulica

De acordo com Gomes (2008) e Netto (2000), “hidráulica” vem das palavras gregas Hydor que significa água e Aulos que expressa tubo ou condução. Portanto, “hidráulica” é o estudo de todas as leis e comportamentos relacionados à água ou a outros fluidos, e seu movimento.

3.3.2 Fluido

Conforme Çengel (2015), fluido é todo material que se encontra no estado líquido ou gasoso e que se deforma continuamente quando exposto às tensões de cisalhamento. As forças atuam paralelas à superfície. Nos condutos forçados o escoamento é denominado de interno porque o fluido está confinado. Durante todo tempo o fluido está sobre ação da viscosidade.

3.3.3 Fluido incompressível

De acordo com Lago (2010), é o fluido que mantém constante sua densidade durante todo o processo de escoamento, ou seja, o volume do líquido não sofre variação, para uma mesma massa. É o caso da água.

3.3.4 Viscosidade

É a resistência que um fluido tem sobre um fluxo, ou seja, capacidade de resistir aos esforços de cisalhamento. Isso dá origem à força de atrito interno. Quanto maior for a viscosidade do fluido, menor será a velocidade do escoamento. Netto (2000) definiu viscosidade como sendo a capacidade que um fluido tem em

converter energia cinética em calor. A viscosidade, nesse caso, é usada para determinar o tipo de escoamento dentro de um tubo.

3.3.5 Número de Reynolds

É usado para determinar o regime de escoamento do fluido. Tem-se regime laminar quando o número de Reynolds for abaixo 2000, regime de transição entre 2000 e 4000 e para regime turbulento acima de 4000. O Carneiro Hidráulico opera em regime não permanente ou transitório, ou seja, em um dado ponto ao longo da tubulação, a pressão e a velocidade variam com o tempo. O número de Reynolds é calculada pela a equação 1 proposta por Netto (2018).

$$Re = \frac{\rho \times V \times D}{\mu} \quad (1)$$

Onde:

Re - Número de Reynolds (admissional)

ρ - Massa específico do fluido (Kg/m³)

V - Velocidade de descolamento do corpo (m/s)

D - Diâmetro da tubulação (m)

μ – Viscosidade do fluido (Pa*s)

3.3.6 Energia

O conceito de energia é bastante amplo. Então, nesse trabalho serão definidos apenas três tipos de energia mecânica que são fundamentais para o funcionamento do Carneiro Hidráulico, são as energias: potenciais, as cinéticas e a de perda de carga. Entretanto, o conceito mais usado para definir energia nos livros de dinâmica dos fluídos, é o potencial que um corpo tem de realizar trabalho ou uma ação em um certo tempo.

De acordo com Cavallari (2010), energia cinética é a energia relacionada ao estado de movimento de um corpo. Conforme Cengel (2011), citado por Barbosa (2018), energia cinética pode ser expressa pela equação 2:

$$E_c = \frac{m \times V^2}{2} \quad (2)$$

Onde:

E_c - energia cinética (joules)

m - massa do corpo (Kg)

V – velocidade de descolamento do corpo (m/s)

Já energia potencial gravitacional é aquela que realiza trabalho por meio da força peso. Cavallari ainda define energia potencial como sendo a capacidade de um sistema físico de armazenar energia e transformá-la em energia cinética. Sendo representada pela equação 3:

$$E_p = m \times g \times h \quad (3)$$

Onde:

E_p - energia potencial (Kg*m/s²)

m - massa do corpo (Kg)

h - Altura de queda (m)

g – coeficiente da gravidade (m/s²)

3.3.7 Pressão

Na lição de Gomes (2008), pressão é conceituada como sendo a força exercida perpendicular a uma superfície, sendo expressa em kgf/cm³, atm, bar ou lbf/pol². Expressa o comportamento molecular de uma substância. A lei de Pascal declara que as pressões em um plano horizontal não variam quando o fluido está em repouso.

3.3.8 Vazão ou descarga

Segundo Cengel (2015), é a relação entre o volume de um fluido que escoar através de uma seção transversal por unidade de tempo. Expressa em m³/s ou l/s.

3.3.9 Perda de carga

De acordo com Amaral (2016), o escoamento de um fluido através de tubulações sofre a influência das paredes e de obstáculos no seu interior, devido ao atrito externo do fluido com a parede do tubo. Em consequência do atrito e da viscosidade do líquido, ocorre a perda de energia, que é a perda de carga. Portanto, perda de carga é a transformação de energia cinética em calor. Isso interfere na velocidade de escoamento e na vazão do sistema.

O tipo de material utilizado na estrutura de condução vai interferir na perda de carga. Por exemplo, uma tubulação de aço galvanizado apresenta rugosidade em torno de 0,00016, enquanto uma de tubo de PVC 0,011.

3.3.10 Princípio de conservação de energia

O Carneiro Hidráulico se fundamenta no princípio de que nenhuma energia é criada, mas transformada. Essa premissa é usada principalmente em sistemas mecânicos, onde estão presentes as energias cinéticas e potenciais.

3.3.11 Transiente hidráulico

Conforme Junior (2008), são ondas de pressão que se deslocam em alta ou baixa magnitude dentro de uma tubulação, causando elevações ou diminuição de pressão, dando origem ao Golpe de Aríete. Nos grandes sistemas de bombeamento de água, quando é formada a onda de sobrepressão, é comum que ocorra danos físicos, como rompimentos, fadiga e perda da elasticidade da tubulação.

Em contrapartida, são usados dispositivos em pontos estratégicos, de modo que recebam e amortecem o impacto, evitando assim maiores danos. Para isso, é realizado um estudo prévio para identificar os principais pontos de impacto do transiente. Os principais equipamentos usados para proteção são: volantes de inércia, ventosas, válvulas de retenção, válvulas de alívio, chaminés de equilíbrio e tanque alimentador unidirecional.

De acordo com Silva (2006), o volante de inércia é uma bateria mecânica que tem como princípio básico o armazenamento de energia cinética a partir de uma massa giratória, ou seja, possibilita aumentar o momento de inércia das partes

rotativas das máquinas de modo a permitir um funcionamento mais prolongado da mesma, sendo de grande relevância, pois transforma a manobra rápida em lenta. São instaladas nos conjuntos elevatórios e funciona para diminuir a ação das pressões negativas.

As ventosas trabalham automaticamente para expulsão e entrada de ar nas tubulações, e são usadas para impedir a formação da onda de sobrepressão, assim como evitar a formação de bolhas de ar dentro da tubulação por conta da redução brusca de pressão, que pode acarretar a diminuição da eficiência do sistema e, por consequência, a redução da vazão. São instaladas nas cotas mais altas e são aplicadas na fase de enchimento da rede.

Conforme Netto (2018), a válvula de retenção atua transferindo o fluido em apenas uma direção, impedindo que o líquido retorne contra as hélices e rotores das bombas. É utilizada principalmente em sistema movidos por gravidade. A portinhola abre por meio da pressão de escoamento da água. As válvulas de alívio tem a função de minimizar o aumento das pressões, por meio das descargas.

Segundo Silva (2006), as chaminés de equilíbrio são capazes de receber o Golpe de Aríete, sendo constituídas de estruturas que atuam como dissipadoras de energia, de modo que haja perda alta de carga na entrada e na saída tenha perda baixa, realizando descarga rápida de acordo com as variações de pressão dentro dos condutos. Sua principal função é transformar um transiente hidráulico rápido em lento, de modo que a estrutura suporte os esforços.

Os tanques unidirecionais são responsáveis por descarregar água nas redes para impedir a formação de baixas pressões, originadas quando ocorre desligamento de bombas ou queda de energia, elevando o sistema para um funcionamento além do calculado para a estrutura. Além disso, a falta de planejamento para essas situações faz aumentar o consumo de energia elétrica.

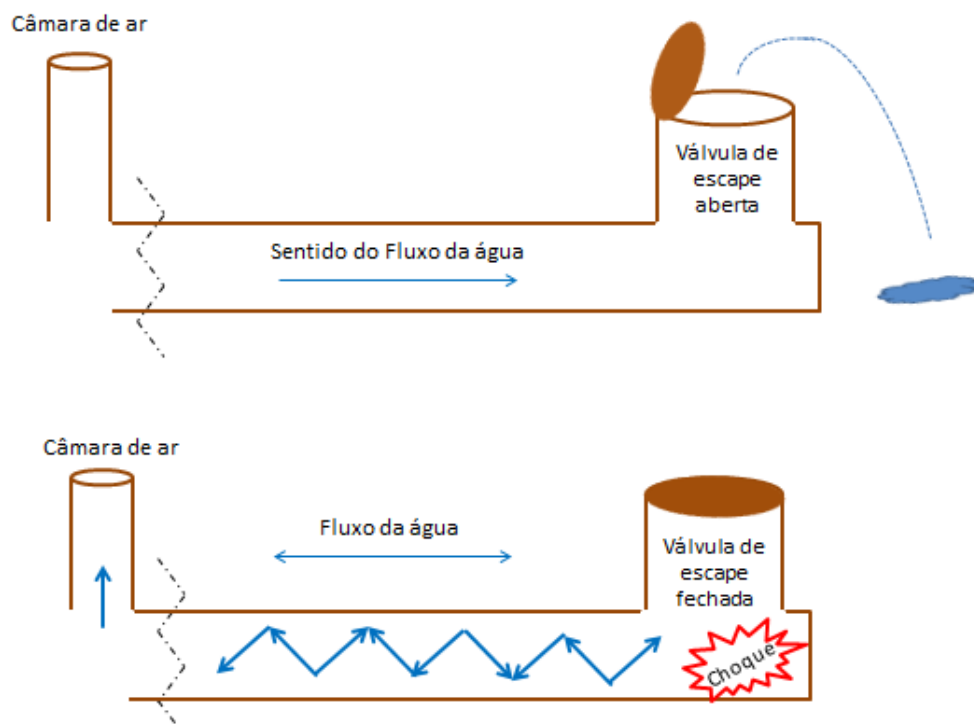
3.3.12 Golpe de Aríete

Segundo Junior (2008), é definido como sendo a propagação de ondas de pressão na tubulação, ocorrendo deflexões nos pontos extremos do sistema. Quanto maior for o diâmetro da tubulação e as pressões geradas, menores serão as deflexões. Segundo Netto (2018), o uso adequado das deflexões permite diminuir o uso de peças especiais e de ancoragem.

De acordo com a NBR 12215 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2017), Golpe de Aríete é o fenômeno de escoamento de um fluido em conduto forçado com regime variado. São levados em conta dois critérios referentes à análise do Golpe de Aríete, que são as etapas de diagnósticos onde é aferido o comportamento do sistema quando sujeito ou não ao impacto, ou seja, contendo ou livre de qualquer dispositivo de proteção. A segunda etapa é a de dimensionamento, onde os dispositivos são estudados e selecionados de acordo com o que apresenta melhores condições para suportar as pressões.

Já para Netto (2018), Golpe de Aríete é definido como sendo o choque violento que ocorre nas paredes de um conduto forçado quando o regime de escoamento do fluido é modificado bruscamente, gerando uma onda de sobrepressão devido ao fechamento rápido de válvulas e registros, que interrompem o fluxo natural do líquido. Essa onda transforma a energia de movimento da água em esforços de compressão e deformação que atingem a tubulação, sendo necessário fazer o estudo prévio das características do material para selecionar a melhor alternativa (Figura 3).

Figura 3 – Efeito do golpe de aríete



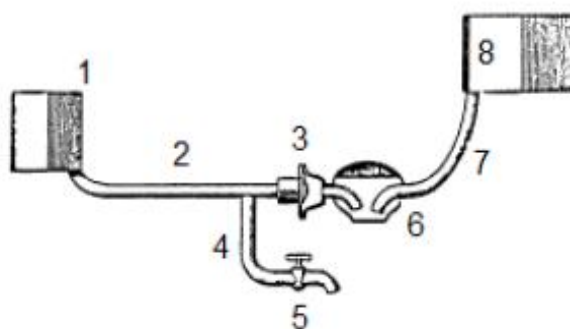
Fonte: Autor

3.4 Funcionamento do Carneiro Hidráulico

Conforme Maeda (2010), o Carneiro Hidráulico foi inventado em 1772 pelo cientista John Whitehurst. O dispositivo funcionava por meio de trabalho manual. Nesse sistema, para promover a elevação da água, utilizava-se uma torneira, que depois de fechada bruscamente, criava uma pressão capaz de transportar o líquido da linha de alimentação para a de armazenamento.

Segundo Ferreira (2016), o primeiro Carneiro Hidráulico era capaz de elevar água até 4,9 m, sendo o comprimento do tubo de alimentação em torno de 4 a 180 m; além disso, a torneira era posicionada a 6 m de distância da linha de alimentação. O Carneiro de John era constituído por um reservatório de alimentação (1), conduto de alimentação (2), válvula principal (3), tubo auxiliar (4), torneira (5), câmara de ar (6), conduto de elevação (7) e reservatório de armazenagem (8) (Figura 4).

Figura 4 - Modelo do primeiro carneiro hidráulico



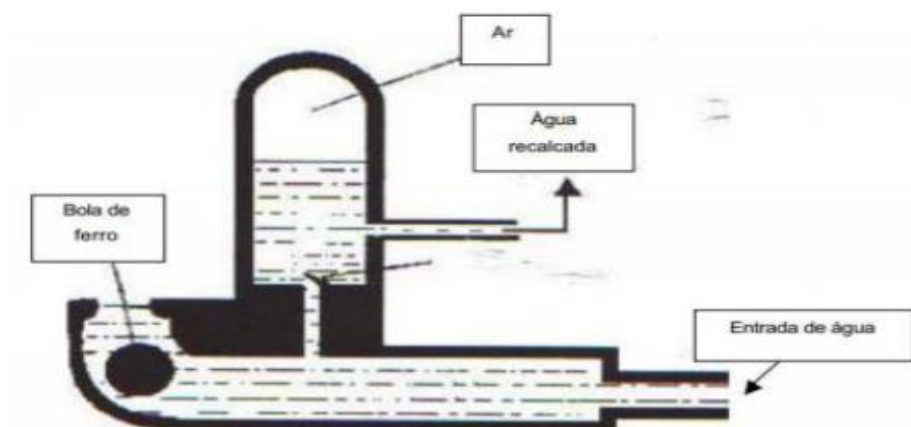
Fonte: Ferreira (2016)

Em 1796 os irmãos Montgolfier contribuíram com a invenção tornando o aparelho automático. O aparelho tem esse nome porque na Idade Média existia um instrumento de guerra que continha na sua extremidade uma cabeça de carneiro. Este era usado para derrubar os portões dos castelos inimigos, ao fazer isso soava um ruído semelhante ao Golpe de Aríete ou ao próprio golpe de um carneiro.

Na lição de Aguiar (2017), é dito que o aparelho dos irmãos Montgolfier funcionava por meio de uma bola de ferro; o fluxo de água que entrava na tubulação fazia a bola rolar até uma curva aberta para a atmosfera, tampando-a. Conseqüentemente, criava-se uma pressão a jusante no qual impulsiona a água em

direção a uma válvula de sentido único, permitindo assim recalcar o líquido e com o tempo a pressão caía e a bola de ferro retornava; com a nova injeção de água, reiniciava-se assim o ciclo (Figura 5).

Figura 5 – Modelo do Carneiro Hidráulico adaptado pelos irmãos Montgolfier



Fonte: Rojas(2002), demonstrado por Aguiar(2017)

Entretanto, o ar que ficava retido na câmara com o tempo ia se dissolvendo. Foi então que os irmãos Montgolfier adaptaram novamente o sistema, acrescentando uma válvula de retenção e uma de escape, que permitia acrescentar mais ar dentro da câmara.

O Carneiro Hidráulico é considerado uma máquina hidráulica operatriz, pois transforma a energia de um fluido, no caso o da água, para gerar energia mecânica. De acordo com Silva (2015), as bombas são máquinas que recebem energia potencial, ou seja, força motriz, decorrente de um desnível provocado no sistema, e transformam parte desta potência em energia cinética e de pressão, cedendo energia ao fluido de forma a recalcar parte da água existente no reservatório inferior.

Segundo Netto (2018), o conduto forçado representa a condição de escoamento de um líquido quando a sua pressão difere da pressão atmosférica. Portanto, o dispositivo está sob essa condição. O Carneiro Hidráulico só irá funcionar se existir um manancial de volume considerável. Além disso, o dispositivo deve ser instalado a uma cota inferior à do manancial. O desnível geométrico provoca a transformação da energia potencial em energia cinética. O líquido está

sobre ação do atrito que ocorre entre as partículas e a parede, dando origem a perda de carga.

Conforme Dardot (2012), citado por Ziliel (2017), o Golpe de Aríete é um sistema hidráulico desprovido de motor, utilizado para elevação de água sem a necessidade do emprego de fontes externas de energia para seu acionamento. Seu princípio de funcionamento baseia-se no aproveitamento da energia gerada pela onda de sobrepressão, formada pela brusca interrupção do movimento de um fluido.

De acordo com Boulos et al (2005), citado por Junior (2008), o Golpe de Aríete origina energia sonora devido aos sucessivos impactos bruscos. A energia sonora em junção com as perdas de carga atuam sobre o gradiente transitório, de modo que sua intensidade vá diminuindo com o tempo, até que o fluido atinja o escoamento permanente, ou seja, a velocidade e a pressão em um ponto não variam com o tempo. As ondas de sobrepressão se deslocam ao longo do tubo na velocidade do som, a intensidade de deslocamento dependerá das propriedades elásticas da água e da tubulação, esse aspecto interfere nas variações de pressão e vazão dentro do sistema.

Segundo Bortolin (2014), o ar é um gás compressível, isto é, seu volume diminui quando exposto a forças externas, sendo a força de sentido contrário ao seu movimento, conseqüentemente gerando um aumento de pressão e realização de trabalho. Após cessar o movimento, o ar retorna ao seu volume original, isso se deve às propriedades de elasticidade e expansividade do gás.

Na lição de Rojas (2002), citado por Ponsoni (2014), é descrito que o ar comprimido formado na câmara, devido ao movimento de abertura da válvula de retenção, tem a função de armazenar água na linha de pressão de recalque e reter o choque do bombeamento causado pelo fechamento brusco da válvula. A câmara de ar deve ser instalada no início da linha de recalque.

O bombeamento começa com a abertura do registro da fonte de alimentação. A água desce por gravidade, nessa etapa há transformação de energia potencial em cinética, e esta é convertida em trabalho ou pressão. Ao atingir a válvula de escape, o fluido impulsiona o fechamento da mesma, criando assim uma onda de sobrepressão devido ao fechamento rápido. A onda percorre a tubulação até a válvula de retenção, fazendo abri-la, permitindo assim a entrada de água na câmara. Nesta etapa ocorrem estiramento e deformação elástica da tubulação, dependendo do material, podendo ou não ocorrer rompimento.

De acordo com Abate (2002), à medida que o ar vai sendo comprimido oferece resistência sobre a entrada do líquido fazendo assim a válvula de retenção fechar. O ar é comprimido até que as pressões dentro da tubulação se igualem.

O Golpe de Aríete é originado quando a válvula de escape é fechada rapidamente, quando houve um movimento brusco, ou seja, presença de uma força de inércia. A energia de movimento da água é transformada em uma onda de pressão à medida que o ar dentro da câmara vai sendo comprimido, vai aumentando a pressão e conseqüentemente a abertura da válvula de escape, lançando água para fora. Esse fluído, por ser incompressível, percorre a tubulação.

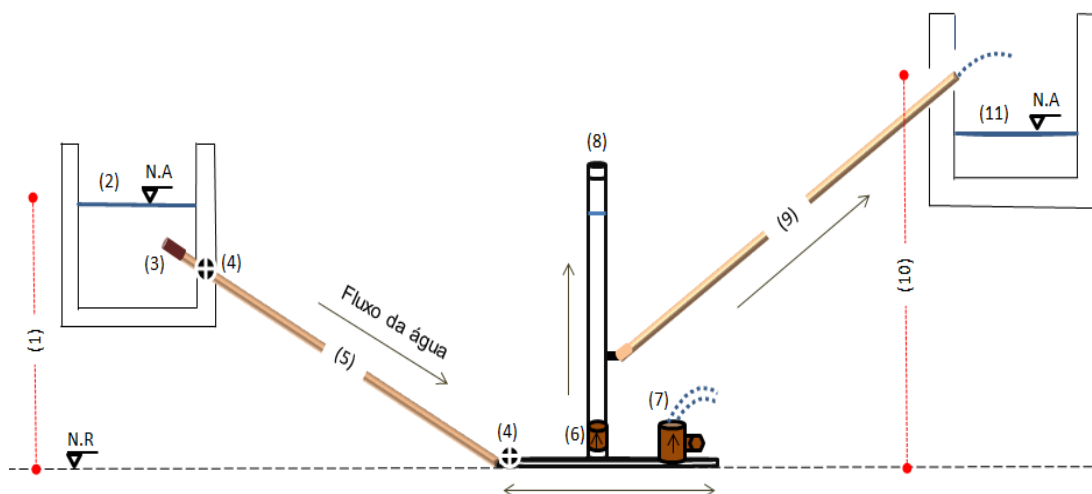
O líquido retorna contra a válvula de escape formando uma onda de choque que dá origem a sobrepressão, reiniciando-se assim o ciclo. No caso do Carneiro Hidráulico, essa onda de choque não é cessada, pois a válvula de escape fica em um movimento contínuo de “abre e fecha”, impulsionado assim o líquido para o reservatório de armazenamento.

Quando a carga hidráulica do reservatório de alimentação é insuficiente, o movimento de recalque é vencido pela ação da gravidade, retornando o líquido para a câmara, até o momento em que o ciclo recomeça. Em casos de sistemas movidos a motores elétricos, essa etapa funciona quando o momento de inércia é barrado pela gravidade, iniciando o processo de descompressão, basicamente ocorre quando o sistema é desligado ou sofre queda de energia.

3.5 Função dos componentes do Carneiro Hidráulico

Conforme Maeda (2010), o sistema de bombeamento do Carneiro Hidráulico é constituído por desnível geométrico (1), fonte de alimentação (2), filtro (3), registro (4), linha de adução (5), válvula de retenção ou de admissão (6), válvula de escape ou de retenção tipo portinhola (7), câmara de ar (8), linha de recalque (9), altura de recalque (10) e reservatório de armazenamento (11) (Figura 6).

Figura 6 - Esquema do sistema integrado do Carneiro Hidráulico.



Fonte: o autor

O desnível geométrico é responsável por transformar a energia potencial do peso da água em energia cinética; enquanto a energia potencial vai diminuindo ao longo do processo, a energia cinética vai aumentando. O registro regula a entrada do fluido sobre o Carneiro Hidráulico.

A válvula de retenção ou de admissão funciona em apenas uma direção, o que impede que o líquido dentro da câmara retorne, encaminhando-o assim para a linha de recalque. É responsável por manter o ar dentro da câmara e regular a entrada e passagem da água entre a linha de alimentação e a câmara de ar.

A válvula de escape é encarregada de provocar o Golpe de Aríete e de retirar a parcela de água que não foi bombeada para a linha de recalque. A tubulação de adução é responsável por transportar a água do reservatório de alimentação até o Carneiro, já a de recalque recebe e conduz a água para o reservatório de armazenamento.

A câmara de ar recebe a onda de sobrepressão provocada pelo Golpe de Aríete e encaminha a água para a linha de recalque. É indicada para sistemas onde as pressões e vazões não são altas, funcionando para impedir que o ar seja dissolvido pela água. Segundo Netto (2018), em sistema complexo de bombeamento de água é recomendado à instalação de um compressor que vai fornecer ar para o sistema de modo que o mesmo não seja totalmente dissolvido.

3.6 Recomendações

De acordo com Lifewater International (2000), mencionado por Maedo (2010), a tubulação do carneiro hidráulico não deve ser construída com materiais com características flexíveis devido ao impacto provocado pelo golpe de aríete. Esses materiais podem diminuir a eficiência do sistema. O recomendado é fazer uso de material a base de aço galvanizado.

Segundo Barbosa (2018), materiais a base de PVC são bastante flexíveis e possuem baixa sensibilidade térmica. O material vai perdendo seu polímero, deteriorando com o tempo à medida que vai sendo exposto ao intemperismo. As condições de trabalho no sertão e no agreste, principalmente no nordeste, são usualmente desafiantes, e comumente os pequenos agricultores e usuários não têm recursos financeiros para investir em tecnologias mais sofisticadas. Logo, é recomendado o uso de material de PVC por ser de baixo custo e fácil acesso.

O atrito provocado pelo contato da água com a tubulação também interfere na potência da onda de sobrepressão, já que a rugosidade da tubulação se opõe a velocidade da água. O dispositivo deve ser instalado em um local plano e nivelado, de modo que permita a entrada de ar na câmara.

Conforme o Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas (CERPCH, 2002), citado por Maedo (2010), o orifício da tubulação de alimentação deve estar 30 cm abaixo do nível da água do mesmo reservatório. Isso se deve ao fato de que no momento de abertura do registro, pode ocorrer entrada de ar dentro da tubulação. A entrada indesejada de ar pode provocar uma alteração na pressão interna, gerando uma pressão negativa, isto é, menor que a pressão atmosférica, conseqüentemente, impedindo a passagem de água.

Segundo Fernandez (2002), a distância da fonte de alimentação até o Carneiro deve ser no mínimo de 18 cm, já o desnível geométrico deve ser superior a 1 m, isso para que a velocidade da água consiga vencer as distâncias. O comprimento da fonte de alimentação deve ser de seis a doze vezes maiores que a altura de alimentação. Em relação à canalização da fonte de alimentação o recomendado é que seja o mais retilíneo possível, sempre abaixo da linha piezométrica, tendo o diâmetro maior do que o da fonte de elevação, devido às perdas durante o processo (Tabela 1).

Tabela 1- Avaliação da vazão com os diâmetros de entrada e saída

Vazão (l/h)	Diâmetro da tubulação de entrada (in)	Diâmetro da tubulação de saída (in)
420 a 900	1	1/2
600 a 1560	1 1/4	1/2
1320 a 2700	3	3/4
4200 a 7200	4	1 1/4

Fonte: Tiago Filho, Viana (2002) citado por Oliveira (2014)

Segundo Abate e Botrel (2000), mencionado por Maeda (2010), a razão entre o comprimento da fonte de alimentação com seu respectivo diâmetro deve estar em torno de 150 a 1000 para possibilitar a máxima eficiência do dispositivo. Deve ser evitado uso de peças como joelhos, curvas, adaptadores e niples no início das tubulações de recalque e sucção.

Na lição de Vieira (2015), é dito que a tubulação de recalque deve ser o mais curta possível e deve estar posicionada de uma forma que permita a ascensão da água para o reservatório de armazenamento, evitando que o material dobre. Ainda, é afirmado que o sistema se torna mais eficiente quando a câmara de ar é construída com material rígido ao invés de garrafa pet.

De acordo com Netto (2018), deve ser instalado um crivo na linha de alimentação que deverá estar a menos de 30 cm abaixo do nível da água e 10 cm acima do fundo do manancial, ou seja, inserir uma malha na tubulação de adução para impedir a entrada de partículas grosseiras, que podem entupir o sistema e interromper o funcionamento das válvulas.

3.7 Aplicações do Carneiro

Conforme a pesquisa desenvolvida por Oliveira (2016), o Carneiro Hidráulico pode ser utilizado, por exemplo, para irrigação de um sistema hidropônico de regime fechado. O experimento ressaltou a importância do dispositivo como alternativa para minimizar os custos de produção da técnica. O mecanismo funciona da seguinte forma: Para manter o desenvolvimento da cultura, o sistema é irrigado com energia

elétrica por no máximo duas horas durante o dia, o que não for absorvida pela cultura é armazenado, até o momento em que a quantidade seja capaz de acionar o Carneiro Hidráulico, que vai atuar como bombeador da solução nutritiva.

A Embrapa em associação com a Fundação Bill criou um projeto em 2015 que previa a instalação de cerca 100 unidades de carneiros hidráulicos na República da Uganda na África Central. Estima-se que essa quantidade seja capaz de irrigar cerca de 200 ha. Na região são produzidas principalmente as culturas de café e chá.

O Carneiro Hidráulico pode ser utilizado ainda como uma ferramenta para bombear água da chuva, como mencionado na pesquisa desenvolvida por Bonetti (2016). A água retida é usada para tarefas do cotidiano, como por exemplo, irrigação de horta urbana, lavagem de automóveis e residências ou até mesmo descarga dos sanitários. É uma alternativa que traz resultados satisfatórios na conta de energia elétrica e de água, além disso, é uma prática sustentável. Bonetti concluiu que o Carneiro Hidráulico não causa nenhum dano quanto à produção de ruídos.

O projeto desenvolvido por Confessor (2016) utiliza o Carneiro Hidráulico como ferramenta para irrigar uma área degradada por voçorocas, fazendo-se a revegetação com a técnica de consórcio, onde são usados três tipos de leguminosas e uma crucífera. As tubulações que se ligam ao Carneiro foram adaptadas para um sistema de irrigação a base de técnicas de microaspersão e gotejamento. O trabalho foi finalizado, concluindo-se que o Carneiro contribuiu para manter a eficiência do sistema quanto à manutenção da umidade do solo, e que apresentou baixa manutenção.

4. METODOLOGIA

Partindo do princípio da metodologia ativa para o ensino do conteúdo e da interdisciplinaridade, os alunos foram expostos ao conteúdo de escoamento transitórios em conduto forçado, que abrange os temas: Golpe de Aríete, energia específica e perda de carga. Esses temas serviram como base do entendimento da aula prática. A falta de abastecimento e energia nas regiões rurais é a problemática do projeto. Em contrapartida, uma alternativa foi transmitir aos alunos a técnica do Carneiro Hidráulico como uma fonte de bombeamento de água que não faz uso de energia elétrica, apenas energia gravitacional, cinética e de pressão (Figura 7).

Figura 7 - Aula prática no Galpão de máquinas da UFRPE



Após a aula prática foi realizado um questionário que serviu como base para compreender as necessidades dos alunos quanto à metodologia de ensino. O questionário foi direcionado para todos os alunos do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental.

Na lição de Netto (2003), citado por Coelho (2011), define-se hidrometria como sendo a ciência da medida e da análise da água, sendo utilizados diversos métodos para a medição da velocidade e da vazão do curso d'água.

O Método Direto é usado para medir pequenas vazões, ou seja, que não ultrapassem 10 l/s. Este pode ser dividido em volumétrico ou gravimétrico. O volumétrico consiste em determinar uma quantidade de volume de água acumulada em um recipiente milimetrado por um tempo estabelecido. Já o gravimétrico baseia-se na pesagem da água que fica retida em um recipiente por um determinado tempo. A vazão proposta por Netto (2018) foi calculada pela equação da continuidade 4:

$$Q = \frac{V}{\Delta T} \quad (4)$$

Onde:

Q - Vazão (m³/s)

V – Volume (m³)

ΔT – Variação do tempo (s)

Utilizando o método volumétrico, com auxílio de uma proveta foi possível determinar a vazão na linha de recalque. A montagem do equipamento foi realizada pelos alunos no Galpão de Máquinas da UFRPE, com auxílio da monitora, seguindo o protótipo previamente desenvolvido pelo docente Manassés Mesquita da Silva do Departamento de Engenharia Agrícola, como forma de adquirirem conhecimento teórico e prático ao longo do processo construtivo.

O protótipo consistiu na substituição da válvula de sucção por uma válvula de retenção portinhola, devido ao fácil manuseio desta. O rendimento do sistema desenvolvido por Cacaro (2007) foi calculado pela equação 5:

$$\eta = \frac{q \times H}{Q \times h} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

η - Rendimento do Carneiro (%)

Q - Vazão de alimentação (m^3/s)

q - Vazão na linha de recalque (m^3/s)

H - Altura de recalque (m)

h - Desnível em relação ao Carneiro (m)

O experimento se conduziu realizando as medições do volume d'água na linha de recalque e de alimentação, adotando um tempo fixo de coleta de 1 minuto. Foram realizadas três repetições. Após calcular a vazão pelo método da continuidade foi feita uma média aritmética pela equação 6:

$$Q \equiv \frac{\sum_0^n Q}{n} \quad (6)$$

Por fim, determinou-se o rendimento do dispositivo pela equação 5 de Cacaro et al (2007) .O Carneiro Hidráulico foi construído com material de PVC, por ser de fácil acesso comercial e ter baixo custo de aquisição (Tabela 2).

Tabela 2 - Materiais usados para a construção do Carneiro.

Material	Medidas
Tubo de PVC (c/6m)	25 mm
Tubo PEBD c/DN	D:16 mm e:1,5
Registro esfera PVC	1/2"
União roscável PVC	1/2"
Tê PVC	1/2"
Válvula retenção cobre (portinhola) ou escape	1/2"
Válvula de retenção PVC	1/2"
Luva redução PVC	1 x 3/4"
Adaptador PVC BS x RM	32 mm x 1" 25 mm x 3/4"
Tubo PVC	32 mm c / 0,8m
Cap PVC	1"
Adaptador polipropileno	1/2" x 16 mm
Nipel	1/2"
Bucha de redução	3/4 x 1/2"
Cola para PVC	1
Fita veda-rosca	1
Serra	1
Lixa	1

Fonte: autor

Quando se avalia o Golpe de Aríete leva-se em consideração a celeridade, a fase de canalização, e o tempo de manobra. A celeridade é a velocidade de propagação da onda de sobrepressão, estimada de um ponto extremo ao outro da tubulação, é influenciada pelas características elásticas do fluido e da tubulação. É expressa pela fórmula desenvolvida por Allievi (1903) e proposta por Netto (2018). A celeridade referente à água é determinada pela equação 7:

$$C = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K \times \frac{D}{e}}} \quad (7)$$

onde:

C - Celeridade da onda (m/s)

K - Coeficiente do módulo de elasticidade do tubo

D – Diâmetro dos tubos (m)

e – Espessura dos tubos (m)

Segundo Netto (2018) o aumento de tensões nas paredes dos condutos, fazendo-os dilatarem e na pior situação romper, esta relacionada com a intensidade de propagação da onda, por este motivo é necessário estudar o coeficiente do módulo de elasticidade das peças. (Tabela 3).

Tabela 3 – Valores do coeficiente do módulo de elasticidade

Materiais	K
Aço	0,5
Ferro fundido	1,0
Concreto	5,0
Cimento-amianto	4,4
Tubos plásticos em geral	18
PVC	33,3

A fase de canalização é o tempo que leva para uma onda de sobrepressão percorrer de uma extremidade a outra da tubulação, indo e voltando, já o tempo de manobra é o tempo de fechamento de uma válvula ou registro. Para definir o tipo de manobra é feita uma análise comparativa com o período de canalização, ou seja, se o tempo de fechamento da válvula (T) for menor que o tempo de deslocamento da onda, chama-se esse movimento de manobra rápida, se o tempo de fechamento for superior chama-se de manobra lenta. A fase de canalização é expressa pela equação 8:

$$\tau = \frac{2L}{c} \quad (8)$$

Onde:

τ - Fase de canalização (s)

C - Celeridade da onda (m/s)

L – Comprimento da tubulação (m)

Segundo Rivas (2004), citado por Silva (2006), para o estudo de manobras lentas considera-se o fluido sendo incompressível e a tubulação rígida, já que essas não sofrem alterações físicas decorrente da pressão formada. Entretanto, para manobras rápidas o fluido não é considerado incompressível e o conduto é dito como frágil, pois está sujeito a deformação.

A formação da onda de sobrepressão máxima ocorre quando o fluido esta sobre ação da manobra rápida, isto é, quando a válvula é fechada bruscamente. Neste caso são desprezadas as perdas de cargas, e as energias cinéticas formada no interior da tubulação. A determinação da onda de sobrepressão varia com o tipo de manobra.

Para manobras rápidas faz uso da equação 9:

$$\Delta P = \frac{V \times C}{g} \quad (9)$$

Onde:

ΔP - Sobrepressão máxima (mca)

V - Velocidade média da água (m/s)

C - Celeridade da onda (m/s)

g - Aceleração da gravidade (m/s²)

Para manobras lentas a sobrepressão é calculada pela equação 10:

$$\Delta P = \frac{2 \times L \times v}{g \times T} \quad (10)$$

Onde:

ΔP - Sobrepressão máxima (mca)

V - Velocidade média da água (m/s)

L- Comprimento da tubulação de alimentação (m)

g - Aceleração da gravidade (m/s^2)

T – Tempo de fechamento da válvula (s)

4.1. Área de estudo

A aula prática foi desenvolvida no Galpão de Máquinas da UFRPE, e a aplicação dos questionários em sala de aula. A Universidade Rural fica localizada na Rua Manuel de Medeiros, S/N, Dois Irmãos, Recife-PE (Figura 8).

Figura 8 - Construção do Carneiro Hidráulico



5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se que o equipamento apresentou aproveitamento de água em torno de 26% e, em campo, o sistema pode chegar até 60%. A vazão na linha de recalque foi de 1,05 l/s e na linha de alimentação em torno de 4,6 l/s, para uma altura de elevação de 1,90 m e desnível de 1,65. A velocidade na canalização de alimentação foi de 9,36 m/s e na de recalque de 5,23 m/s (Figura 6).

Conforme Roos et al (2000) e Aqua Environment Co (1997), mencionados por Abate (2002), o limite mínimo de desnível entre a fonte de alimentação e o carneiro hidráulico deve ser de 1 m, já o limite máximo de desnível é de 7,5 m. Para se obter uma vazão considerável é recomendado que o comprimento da tubulação de alimentação seja 5 à 10 vezes maior que o desnível da fonte de alimentação ao Carneiro.

De acordo com Netto & Alvarez (1988), citado por Cararo et al. (2006), o rendimento do sistema hidráulico construído em PVC pode variar entre 20 a 70%, dependendo da relação entre a altura de recalque e da fonte de alimentação (altura geométrica). Quanto maior for a proporção entre as alturas, maior será o aproveitamento do sistema hidráulico. O Carneiro pode ser fabricado com diversos tipos de materiais. Segundo o Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas (CERPCH, 2002) para um Carneiro feito a base de garrafa de pet o rendimento pode variar entre 30 a 60% (Tabela 4).

Tabela 4 - Aproveitamento do Carneiro em relação à proporção das alturas

Proporção entre a linha de alimentação e recalque	Aproveitamento (%)
1/2	60
1/3	55
1/4	50
1/5	45
1/6	40
1/7	35
1/8	30

Fonte: Filho e Viana (1996), adaptado por Vieira (2015)

O experimento foi parte fundamental da aula prática da Disciplina de Hidráulica Aplicada. Como foi conduzido no Galpão de Máquinas, houve limitação na altura de alimentação e de recalque, por este fator, o aproveitamento de água foi baixo, porém ficou dentro dos valores estabelecidos Cararo et al. (2007)

À medida que se vai aumentando a linha recalque, pode ser verificado que a vazão ou volume coletado no tempo tende a diminuir, já que o fluido tem que vencer maiores alturas, isto é, o potencial de recalque do sistema deve ser superior. Uma alternativa é construir o dispositivo com mais de uma válvula de escape, que vai potencializar o sistema, devido à uma geração de onda de sobrepressão maior, já que haverá um impacto brusco maior devido ao fechamento das válvulas (Tabela 5).

Tabela 5 - Volume em litros gerado com as alturas de recalque e sucção.

Altura de alimentação (m)	Altura de recalque (m)												
	5	7,5	10	15	20	30	40	50	60	80	100	125	
-													
1	144	77	65	33	29	19,5	12,5						
2		220	156	105	79	53	33	25	19,5	12,5			
3			260	180	130	87	65	51	40	27	17,5	12	
4				255	173	115	86	69	53	36	23	16	
6					282	185	140	112	93,5	64,5	47,5	34,5	
7						216	163	130	109	82	60	48	
8							187	149	125	94	68	55	
9							212	128	140	105	84	62	
10							245	187	156	117	93	69	
12							295	225	187	140	113	83	
14								265	218	167	132	97	
16									250	187	150	110	
18									280	210	169	124	
20										237	188	140	

Fonte: Watt (1981,p.30), citado por Ziliel (2017)

Segundo Abete (2002), para se obter uma vazão maior, o número de batidas por minuto no Carneiro deve ser o mínimo possível. Na lição de Júnior (2018), para uma vazão de 2,2 l/min foram contados cerca de 60 batidas por minuto, já para Oliveira (2011) o número de golpe por minuto ficou entre 75 e 80 para um volume entre 0,6 e 2 l.

Conforme Dardot (2012), citado por Vieira (2015), quanto maior for o peso da estrutura e os desníveis, menor será o número de batidas. Logo, maior será a pressão gerada e volume recalcado. Isso se deve ao fator da velocidade atingir valores elevados, chegando à válvula de escape com alta intensidade, gerando assim uma onda de sobrepressão maior.

O custo de construção do Carneiro com as tubulações da linha recalque e de alimentação ficou em torno de 150 reais, porém depende muito das condições do local a ser instalado. Normalmente em uma área rural, o custo fica mais elevado por conta das distâncias e dos desníveis.

Entretanto, se comparado ao carneiro industrial, o custo final é inferior. O Carneiro Hidráulico é montado com peças de baixo custo, o que torna o sistema viável do ponto de vista econômico. Na revendedora MFRURAL, o Carneiro Hidráulico feito de material de aço custa entre R\$ 750,00 a R\$ 1.220,00, já a Embrapa afirma que a versão mais simples constituída a base de ferro fundido pode custar R\$ 300,00.

Segundo Netto (2018), a celeridade para tubos indeformáveis fica em torno de 1425 m/s, que é exatamente o valor de propagação do som da água. Já a formação da onda de sobrepressão máxima ocorre quando o fluido esta sobre ação da manobra rápida, isto é, quando a válvula é fechada bruscamente. A celeridade para o Carneiro Hidráulico construído a base de PVC com diâmetro de 16 mm e espessura de 1,5 mm ficou em torno de 492,85 m/s. dentro dos parâmetros estabelecidos por Netto (2018). A máxima onda de sobrepressão gerada foi de 407,66 mca ou 40,7 atm.

Para evitar que o sistema venha a ficar sobrecarregado o recomendado é manter o valor da onda de sobrepressão o mais baixo possível, para isso existem técnicas simples como o aumento do diâmetro e diminuição da espessura das tubulações ou a substituição de um material a base de aço para um de ferro fundido (Tabela 6)

Tabela 6 - Valores da Celeridade para diversos materiais

D/e	Aço	Ferro fundido	Concreto
500	574,2	425,7	247,5
400	623,7	465,3	277,2
300	702,9	524,7	316,8
250	752,4	574,2	346,8
200	811,8	623,7	386,1
180	841,5	653,4	405,9
160	871,2	683,1	425,7
140	910,8	722,7	455,4
120	950,4	762,3	485,1
100	999,9	811,8	524,7
80	1049,4	871,2	584,1
60	1118,7	950,4	653,4
50	1158,3	999,9	702,9
40	1197,9	1049,4	762,3
30	1247,4	1118,7	841,5
20	1296,9	1197,9	950,4
10	1356,3	1296,9	1118,7

Fonte: Netto (2018)

Conforme, o questionário aplicado aos alunos de Engenharia Agrícola e Ambiental, pode-se afirmar que é necessário um ensino mais prático dentro das universidades. Foram abordados 50 alunos, e destes 100% confirmaram que um ensino mais prático melhora o entendimento do conteúdo teórico. Além disso, acham relevante a interação com as comunidades rurais.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia ativa auxilia no processo construtivo dos alunos. A construção do dispositivo contribuiu para aumentar o interesse do aluno na sua área de trabalho, incentivando o interesse dos mesmos por desenvolverem tecnologias de baixo custo. O Carneiro Hidráulico construído de PVC é montado com peças de baixo preço de aquisição, o que torna o sistema viável do ponto de vista econômico.

Além disso, obteve resultados satisfatórios, quanto aos aspectos ambientais, visto que é uma substituição do carneiro industrial, sendo uma alternativa sustentável, já que não faz uso de energias não renováveis. Do ponto de vista de eficiência do sistema, o aparelho apresentou resultados satisfatórios.

Portanto, o dispositivo configura-se como uma alternativa promissora para famílias de baixa renda, possibilitando a elevação de água sem custos de energia, permitindo assim o desenvolvimento das diversas atividades rurais com a otimização do trabalho humano. Adicionalmente, contribui para a obtenção de uma fonte de renda para a família rural. Entretanto, é necessário inseri-los no mercado para permitir o crescimento contínuo de suas atividades.

▪

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12215-1: Projetos de adutora de água. Parte 1: conduto forçados**. Rio de Janeiro, 2017.

ABATE, C; BOTREL, T.A. Carneiro hidráulico com tubulação de alimentação em aço galvanizado e em pvc. **Scientia Agricola**, v.59, n.1, p.197-203, jan./mar, 2002.

ARAÚJO, U.F; ARANTES, V.A; FILHO, H.F. Ensino de Sensoriamento Remoto através da Aprendizagem Baseada em Problemas e Por Projetos: uma proposta metodológica. In: **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, 2009. p.2365-2371.

ARAÚJO, S.M.S. A região semiárida do nordeste do Brasil: Questões Ambientais e Possibilidades de uso Sustentável dos Recursos. **Revista Rios eletrônica**, n.5, p. 89-98, 2011.

INSTITUTO FEDERAL FARROUPILHA. **Sustentabilidade econômica: reuso da água do tratamento de esgoto para irrigação através do carneiro hidráulico**. Disponível em: <<https://www.iffarroupilha.edu.br/noticias-ic/item/3739-sustentabilidade-economica-reuso-da-agua-do-tratamento-de-esgoto-para-irrigacao-atraves-do-carneiro-hidraulico>>. Acesso em: 29 março. 2019.

BONETTI, T. Alternativas visando potencializar o uso do carneiro hidráulico no bombeamento de água das chuvas. Rio do sul, 2016. 38 p.

BORTOLIN, E. Dimensionamento de um sistema de ar comprimido para uma empresa de pequeno porte. Horizontina, 2014. 45 p.

CARARO, D.C.; DAMASCENO, F.A.; GRIFFANTE, G.; ALVARENGA, L.A. Características construtivas de um carneiro hidráulico com materiais alternativos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.4, p.349–354, 2007.

CONFESSOR, J.G; MACHADO, D.F.T; RODRIGUES, S.C. Procedimentos de revegetação irrigada por carneiro hidráulico em área degradada por voçorocamento. **Revista Spiência**, v.5, n.1, p.112-126, 2016.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017: ano base 2016**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicaçõesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2017vf.pdf>>. Acesso em: 25 março. 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. **Anais do I simpósio do Bioma Caatinga**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2016. 171p.

FERREIRA, A. Aplicação e otimização da bomba de aríete para elevação de água em meios rurais de timor-leste. 2016. 79 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal. 2016.

GOMES, M.P.C; RIBEIRO, V.M.B; MONTEIRO, D.M; LEHER, E.M.T; LOUZADA, R.C.R. O uso de metodologias ativas no ensino de graduação nas ciências sociais e da saúde – avaliação dos estudantes. **Ciência & Educação**, v.16, n.1, p. 181-198, 2010.

BRASIL. Instituto Trata Brasil. **Acesso à água nas regiões norte e nordeste do Brasil: desafios e perspectiva.** Disponível em :<http://tratabrasil.org.br/images/estudos/acesso-gua/tratabrasil_relatorio_v3_A.pdf>. Acesso em: 02 abril. 2019.

JÚNIOR, J.V.A; et al. Competição de carneiro hidráulico da faculdade de tecnologia de alagoas como ferramenta prática de aprendizagem da disciplina de hidrologia. **Ciência Agrícola**, Rio Largo, v.16, número suplementar, p.65-69, 2018.

JUNIOR, P.A.M. Análise de transientes hidráulicos em uma adutora utilizando o método das características. Florianópolis, 2008. 96 p.

MACEDO, K.D.S; ACOSTA, B.S; SILVA, E.B; SOUZA, N.S; BECK, C.L.C; SILVA, K.K.D. Metodologias ativas de aprendizagem: caminhos possíveis para inovação no ensino em saúde. Santa Maria, v.22, n.3, 2018. Disponível em:<http://www.scielo.br/pdf/ean/v22n3/pt_1414-8145-ean-22-03-e20170435.pdf>. Acesso em: 20 abril. 2019.

MARINHO, M.N.A.S.B; BIONE, D.A.P; ALVES, S.M. Arco de Charles Maguerez: vivenciando a técnica na formação de estudantes de mestrado. Disponível em:<http://www.convibra.com.br/upload/paper/2013/59/2013_59_7710.pdf>. Acesso em: 02 abril. 2019.

MAEDA, L.K. Análise de sistemas alternativos de bombeamento, condução de água e irrigação: estudo de caso a horta municipal de São Carlos. São Carlos, 2010. 114 p.

NETTO, J.M.A.; FERNANDÉZ, M.F; ARAUJO, R; EIJILTO, A. Manual de hidráulica. 8.ed. São Paulo: butcher, p.112-120, 2018.

OLIVEIRA, I; FERREIRA, L.M; BERNADIS, M.E.C; BALDI, P.P.M; PAULIKEVIS, S.B. Sistema de irrigação em hidroponia por carneiro hidráulico sistema fechado. Disponível em:<http://www.comciti-roo.com.br/feciti/upload_projetos/00020.pdf>. Acesso em: 20 abril. 2019.

OLIVEIRA, K.C.F. Estudos de eficiência hidroenergética: estudo de caso parque estadual da ilha Anchieta – Ubatuba/SP. 2014. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá. 2014.

SILVA, P.A. Amortecimento da celeridade de onda em condutos forçados. 2006. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia hidráulica) – Universidade de São Paulo: Escola Politécnica, São Paulo. 2006.

VIEIRA, F.L. Estudo e aplicação do carneiro hidráulico para bombeamento de água e controle de vazão. São Paulo: Lorena, 2015. 57 p.

ZILIEL, F.K. Montagem e funcionamento de uma bomba de aríete. Alegrete, 2017.72 p.

APÊNDICES 1- QUESTIONÁRIO

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Departamento de Engenharia - DE

Natalice de Andrade Muniz Costa

Discente de Bacharelado em Engenharia AA (10º Período)

Disciplina: Hidráulica Aplicada

Local da pesquisa: CEAGRI 2

Relatório de Estágio Supervisionado Obrigatório – ESO

QUESTIONÁRIO PÚBLICO AOS DISCENTES DE EAA

1. Em qual período do curso de engenharia agrícola você está no momento?

2. Você conhece o termo 'carneiro hidráulico'?

- SIM
 NÃO

3. Se sim, foi relevante conhecer esse termo para sua profissão? E por quê?

- SIM
 NÃO

4. Você compreende o significado de 'golpe de aríete'?

- SIM
 NÃO

5. A utilização de aulas práticas melhora o seu entendimento dos conteúdos teóricos?

- SIM
 NÃO

6. Ao longo do curso a quantidade de aulas práticas foi satisfatória?

- SIM
 NÃO

7. Como você avalia a importância das aulas práticas no seu curso?
(Muito baixa, baixa, média, alta ou muito alta).

8. Você já visitou alguma comunidade rural durante o curso?

- SIM
 NÃO

9. Você já ouviu falar sobre a metodologia ativa de ensino?

- SIM
 NÃO

10. Você acha relevante a participação da Universidade Rural dentro das comunidades rurais? Se sim, por quê?

- SIM
 NÃO

11. Faça uma sugestão que possa melhorar o modelo de ensino em sala de aula.