

Etec Euro Albino de Souza
Ensino Médio com Habilitação Profissional de Técnico
em Automação Industrial

Bruno Moraes Rosa
Glauco Bandeira Kimpinski
Lucas de Melo Fioritti
Miguel Arcanjo Moretti Rabelo
Roberto Ferreira da Silva Neto

Desenvolvimento de uma Cuba Ultrassônica
para Limpeza de Peças Industriais

ETEC EURO ALBINO DE SOUZA
ENSINO MÉDIO COM HABILITAÇÃO PROFISSIONAL DE TÉCNICO
EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

BRUNO MORAIS ROSA
GLAUCO BANDEIRA KIMPINSKI
LUCAS DE MELO FIORITTI
MIGUEL ARCANJO MORETTI RABELO
ROBERTO FERREIRA DA SILVA NETO

DESENVOLVIMENTO DE UMA CUBA ULTRASSÔNICA
PARA LIMPEZA DE PEÇAS INDUSTRIAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Etec Euro Albino de Souza, do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, submetida à banca examinadora do curso Ensino Médio com Habilitação Profissional, como requisito para obtenção do diploma de Técnico em Automação Industrial.

Orientador: Prof. Ms. Diogo Pedriali.

Ficha elaborada pelo Bibliotecário da Instituição.

F521d Fioritti, Lucas de Melo; Silva Neto, Roberto Ferreira da; Kimpinski, Glauco
Bandeira; Rosa, Bruno Moraes; Rabelo, Miguel Arcanjo Moretti.

Desenvolvimento de uma Cuba Ultrassônica para Limpeza de Peças Industriais.
– Mogi Guaçu/SP, 2025.

41 p.

Trabalho de Conclusão do Curso de Ensino Médio com Habilitação Profissional
de Técnico em Automação Industrial da ETEC Euro Albino de Souza, de
Mogi
Guaçu.

Orientadores: Professor Mestre Diogo Pedriali; Professor Especialista Fabio
Fernando Barbosa.

1. Automação. 2. Limpeza. 3. Transdutores. 4. Piezoelétricos. I. Pedriali, Diogo;
Barbosa, Fabio Fernando (orientadores). II. Título

CDD: 353.9

ETEC EURO ALBINO DE SOUZA
ENSINO MÉDIO COM HABILITAÇÃO PROFISSIONAL DE TÉCNICO
EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

BRUNO MORAIS ROSA
GLAUCO BANDEIRA KIMPINSKI
LUCAS DE MELO FIORITTI
MIGUEL ARCANJO MORETTI RABELO
ROBERTO FERREIRA DA SILVA NETO

DESENVOLVIMENTO DE UMA CUBA ULTRASSÔNICA
PARA LIMPEZA DE PEÇAS INDUSTRIAIS

Monografia aprovada por banca examinadora em 18 de novembro de 2025.

Banca Examinadora:

Prof. Diogo Pedriali – (Orientador)

Prof. Fábio Fernando Barbosa

Prof. Luis Carlos Pompeu

DEDICATÓRIA

Dedicamos esta monografia àqueles que, de forma direta ou indireta, tornaram possível a realização deste trabalho e a concretização do protótipo aqui apresentado. Cada contribuição, seja por meio de palavras de incentivo, apoio técnico ou simples gestos de companheirismo, teve um papel fundamental na superação dos desafios encontrados ao longo do projeto.

Aos nossos familiares, que ofereceram motivação para que nós pudéssemos seguir firmes até o fim. Aos amigos e colegas, que estiveram presentes durante as longas horas de estudo, planejamento e execução, sempre dispostos a ajudar e compartilhar conhecimento.

Dedico também aos professores e orientadores que acreditaram na nossa capacidade, nos instigaram a buscar o melhor e nos mostraram que o aprendizado vai muito além das salas de aula.

AGRADECIMENTOS

A realização deste projeto e desta monografia não seria possível sem o apoio e a colaboração de muitas pessoas que, de diferentes formas, contribuíram para o nosso crescimento pessoal, acadêmico e profissional.

Agradecemos primeiramente aos professores do curso, que compartilharam seus conhecimentos, despertando em nós o interesse pela pesquisa e pelo desenvolvimento tecnológico. Em especial, agradecemos aos docentes que estavam presentes, orientando nas etapas de escolha de componentes, sempre dispostos a sanar dúvidas e oferecer sugestões valiosas.

Um agradecimento especial aos pais e familiares, que não mediram esforços para oferecer apoio financeiro, emocional e logístico, compreendendo o valor desta conquista e incentivando cada passo da jornada.

Estendemos também nossa gratidão a todos os que contribuíram de maneira indireta, amigos, técnicos e profissionais que ofereceram palavras de incentivo, emprestaram ferramentas ou compartilharam experiências que ajudaram a tornar este projeto possível.

Encerramos este agradecimento reafirmando nossa gratidão a cada pessoa que acreditou em nosso potencial e nos ajudou a transformar um simples projeto em uma importante etapa de nossas vidas acadêmicas e profissionais.

“A melhor forma de prever o futuro é criá-lo.”

Peter Drucker

RESUMO

A cuba ultrassônica é um equipamento que utiliza ondas sonoras de alta frequência para realizar a remoção de sujeiras em diversos segmentos, como na indústria de manufatura, bijuterias, equipamentos hospitalares e peças metálicas. O presente trabalho tem como objetivo desenvolver e comprovar a eficiência de um sistema de limpeza automatizado por cavitação ultrassônica, destacando sua aplicabilidade em ambientes industriais de pequeno e médio porte. A proposta busca otimizar o processo de higienização, reduzindo o consumo de água e energia elétrica, além de minimizar a necessidade de intervenção humana. O projeto foi desenvolvido a partir de estudos teóricos, análise de artigos científicos e testes experimentais realizados com o protótipo construído. A cuba, equipada com transdutores piezoelétricos e uma placa geradora de frequência, demonstrou resultados satisfatórios na remoção de sujeiras como graxa e óleo, mesmo em superfícies de difícil acesso, comprovando sua eficácia e precisão. A tecnologia apresentada contribui para a sustentabilidade no ambiente industrial, por reduzir o uso de produtos químicos abrasivos e o descarte desnecessário de peças. O estudo também reforça o potencial da automação e da eletrônica aplicada na criação de soluções de baixo custo e alta eficiência para manutenção industrial. Assim, conclui-se que o desenvolvimento de uma cuba ultrassônica representa um avanço significativo na modernização de processos de limpeza, aliando eficiência, economia e responsabilidade ambiental.

Palavras-chave: Cuba Ultrassônica. Cavitação. Limpeza. Transdutores. Indústria.

ABSTRACT

The ultrasonic cleaning tank is a device that uses high-frequency sound waves to remove dirt and contaminants in various sectors, such as manufacturing, jewelry, hospital equipment, and metal parts. This study aims to develop and demonstrate the efficiency of an automated ultrasonic cleaning system based on acoustic cavitation, emphasizing its applicability in small and medium-sized industrial environments. The project seeks to optimize the cleaning process by reducing water and energy consumption while minimizing human intervention. It was developed through theoretical research, analysis of scientific articles, and experimental testing with a functional prototype. The tank, equipped with piezoelectric transducers and a frequency generator board, showed satisfactory results in removing substances such as grease and oil, even from hard-to-reach areas, proving its effectiveness and precision. The proposed technology contributes to industrial sustainability by reducing the use of abrasive chemical products and preventing unnecessary disposal of reusable components. The study also highlights the potential of automation and applied electronics in creating low-cost and high-efficiency maintenance solutions. Therefore, the development of an ultrasonic tank represents a significant advancement in the modernization of cleaning processes, combining efficiency, economy, and environmental responsibility.

Key words: Ultrasonic Tank. Cavitation. Cleaning. Transducers. Industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cuba apoiada	27
Figura 2 - Hastes com Cotoveleira	27
Figura 3 - Base com 3 Suportes	28
Figura 4 - Cuba Completa	29

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Cronograma.....	24
Quadro 2 - Diagrama de Blocos	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Custos	26
Tabela 2 - Sujidade Poeira na Água	31
Tabela 3 - Sujidade Óleo em Água.....	31
Tabela 4 - Sujidade de Gordura na Água	32
Tabela 5 - Sujidade da Poeira no Álcool.....	32
Tabela 6 - Sujidade de Óleo em Álcool	33
Tabela 7 - Sujidade da Gordura no Álcool.....	33
Tabela 8 - Sujidade de Poeira no Detergente Industrial.....	34
Tabela 9 - Sujidade de Óleo no Detergente Industrial	34
Tabela 10 - Sujidade de Gordura no Detergente Industrial.....	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PCD Pessoa com Deficiência

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	OBJETIVO GERAL.....	16
1.1.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
1.2	JUSTIFICATIVA.....	16
1.2.1	ANÁLISE FINANCEIRA.....	17
1.2.2	ANÁLISE SOCIAL.....	17
1.2.3	ANÁLISE AMBIENTAL.....	17
1.2.4	ANÁLISE DE SEGURANÇA.....	18
1.3	RELEVÂNCIA.....	18
1.4	ACESSIBILIDADE.....	18
2	DESENVOLVIMENTO.....	19
2.1	REFERENCIAL TEÓRICO.....	21
2.1.1	METODOLOGIA CIENTÍFICA.....	22
2.2	TÓPICOS DE FUNDAMENTAÇÃO.....	22
2.3	RECURSOS NECESSÁRIOS.....	23
2.4	CRONOGRAMA.....	23
2.5	DESENHOS E DETALHAMENTOS.....	24
2.6	CUSTOS.....	25
2.7	CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO.....	26
2.8	PROTOCOLO DE TESTES.....	29
2.8.1	EXECUÇÃO DOS TESTES.....	30
2.8.2	COLETA DE DADOS DOS TESTES.....	30
2.8.3	ANÁLISE DOS DADOS DOS TESTES.....	35
2.9	MELHORIAS.....	36
2.10	ASPECTOS POSITIVOS.....	36
2.11	RISCOS.....	36
2.12	DIFERENCIAIS.....	37
2.13	RECOMENDAÇÕES.....	37
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	37
3.1	TRABALHOS FUTUROS.....	38
	REFERÊNCIAS.....	39

1 INTRODUÇÃO

A limpeza de peças industriais é um processo de extrema importância em várias áreas da indústria, especialmente em processos de manutenção.

Sujidades que se acumulam nos componentes e máquinas industriais podem acarretar mau funcionamento e a diminuição da vida útil dos mesmos, dessa forma acaba afetando a qualidade geral dos produtos que ali estão sendo confeccionados para as mais diversas finalidades.

Utilizando deste contexto apresentado, a aplicação de meios para uma limpeza mais eficiente e sustentável no meio industrial tem ganhado cada vez mais destaque, visando um ambiente de trabalho com maior qualidade para os funcionários e eficiência da vida útil do meio no processo.

A cuba ultrassônica tem como meio de limpeza dos componentes as ondas ultrassônicas de alta frequência, que visam fazer a remoção de sujidades tanto líquidas quanto sólidas, sem utilizar dos meios abrasivos comumente utilizados no meio industrial.

E por conta dessa sua extrema eficiência já tem sido amplamente utilizado nas áreas óticas e de medicina.

Este trabalho tem como seu principal objetivo adaptar e criar um protótipo funcional e dimensionado para os meios industriais, realizando a limpeza de graxas, óleos e os principais meios de sujidade na indústria.

Buscando fornecer uma alternativa de baixo custo e eficiente para empresas de pequeno porte que não tem a capacidade de realizar a compra de meios mais sofisticados e caros para a constante limpeza do processo industrial.

Para isso o projeto será realizado dos conhecimentos teóricos adquiridos através do curso e de artigos científicos comprovados de meios oficiais, além dos testes realizados do próprio protótipo, sendo analisado e realizado melhorias ao decorrer da confecção do mesmo.

O primeiro capítulo desta monografia visa apresentar os principais pontos do protótipo e sua teoria principal, buscando se tornar claro o funcionamento interno e as qualidades sociais do projeto, o que ele visa alcançar e também as suas qualidades.

1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver uma cuba ultrassônica com o propósito voltado para a limpeza de peças industriais de pequeno porte, como parafusos e porcas, que estão acometidas por graxa, óleo e seus derivados, avaliando sua eficiência na remoção de tais sujidades.

1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar uma investigação concisa do funcionamento de cubas ultrassônicas para que possa ser realizada a adaptação à Indústria, visando suas necessidades fundamentais.

Identificar o escopo de limpeza em que a cuba será direcionada através da análise dos tipos de sujidade mais comuns no meio industrial, tendo como foco aqueles mais agravantes na indústria.

Avaliar a eficiência da cuba ultrassônica em diferentes tipos de sujidades anteriormente estudadas como as mais comuns no meio industrial para a coleta de dados conclusiva de sua eficiência.

1.2 JUSTIFICATIVA

No meio industrial o funcionamento eficiente das máquinas é um requisito fundamental, pois desta forma gera mais lucros para a empresa, especialmente em processos que necessitam de uma limpeza e graus de esterilização mais elevado.

Neste caso a cuba ultrassônica se mostrou uma alternativa sustentável e eficiente para esse propósito, por conta de sua capacidade de remover sujidades de forma rápida, profunda e não abrasiva.

Este trabalho se justifica através da crescente necessidade dos direitos trabalhistas através de maior higiene no meio de trabalho, como também da necessidade de meios tecnológicos para a realização da limpeza contínua do processo industrial utilizando cada vez menos mão de obra e processos que abusam de meios químicos abrasivos ao produto confeccionado.

Além disso o projeto também oferece uma oportunidade essencial de colocar o conhecimento adquirido no curso de uma forma teórica em um projeto físico, assim

integrando a teoria aprendida no mesmo à prática realizada no dimensionamento e confecção da cuba ultrassônica.

1.2.1 ANÁLISE FINANCEIRA

O mesmo foi realizado com o intuito de ser acessível no meio industrial, ou seja, tendo custos baixos que justificam sua compra, por ser um produto barato e com uma importância significativa acredita-se que a cuba ultrassônica seria bem aceita no meio industrial, levando em conta a já citada crescente necessidade por limpeza e meios mais modernos para a realização da mesma na indústria.

1.2.2 ANÁLISE SOCIAL

A construção de uma cuba ultrassônica de pequeno porte afeta principalmente as empresas de pequeno e médio porte que não tem condições e nem necessidade de comprar equipamentos industriais caros.

Ao fornecer uma alternativa de limpeza através de um meio mais barato e acessível o projeto ajuda a manter a qualidade de manutenção de equipamentos, promove práticas mais sustentáveis e não abrasivas, fazendo com que a imagem de cuidado e limpeza de uma empresa melhorem significativamente.

Além disso o projeto incentiva os alunos a realizar uma aplicação elaborada e de baixo orçamento dos seus conhecimentos adquiridos na escola, formando assim alunos mais capacitados e preparados para o mercado de trabalho.

1.2.3 ANÁLISE AMBIENTAL

Ao utilizar a cuba ultrassônica para limpeza é vista uma ajuda clara ao meio ambiente, dado que comumente apenas despejariam produtos abrasivos para a limpeza das peças, com a cuba não há tanto desperdício, ainda que deve ser considerado o fato do descarte do produto químico, o qual é nocivo para a saúde.

Além disso, ao conseguir limpar com maior precisão pode ser evitado o descarte de peças que poderiam ser utilizadas novamente, o que ajuda tremendamente, principalmente as empresas de pequeno porte, evitando o gasto desnecessário em equipamentos ainda em funcionamento.

1.2.4 ANÁLISE DE SEGURANÇA

O operador e as peças estarão seguros a partir do momento em que a cuba é feita e manuseada corretamente, seguindo as normas regulamentadoras 10 e 12, que fazem referência à segurança com equipamentos elétricos e manuseio de máquinas no ambiente de trabalho, respectivamente.

Como exemplo do que é dito nas normas temos, isolamento de componentes elétricos, exposição às vibrações, uso de tampas para evitar respingos do líquido nocivo e orientação aos operários.

1.3 RELEVÂNCIA

A produção da cuba ultrassônica tem relevância nos meios acadêmico, científico e industrial, pois utiliza a tecnologia de ondas para uma limpeza mais efetiva e profunda nas peças industriais, tendo menor necessidade de descarte de peças e realizando uma maior higiene.

Tendo isto em mente, ela traz benefícios para um ambiente melhor de trabalho, sustentabilidade e redução de gastos.

1.4 ACESSIBILIDADE

A cuba ultrassônica é de uso simples, fazendo com que alguém sem conhecimento técnico seja capaz de utilizá-la, podendo também ser projetadas para PCD, como os que utilizam cadeiras de roda, apenas mudando a altura da bancada, assim como seria simples utilizar um sistema com sons para deficientes visuais.

2 DESENVOLVIMENTO

A limpeza ultrassônica é uma forma de limpar que utiliza da criação de microbolhas que estouram na superfície do objeto, fazendo com que toda a sujeira presente no mesmo seja limpa através da cavitação.

Ela será criada através de dois principais componentes, os transdutores piezoelétricos e a placa geradora de ondas, que serão responsáveis por gerar a frequência e a onda respectivamente, além disso também será utilizado um potenciômetro para fazer a regulação da largura da onda, assim podendo regular a vontade a quantidade de força que a limpeza terá, ou seja, deixando-a mais leve ou mais pesada dependendo do tipo de sujeira e gravidade do mesmo, após os testes iniciais também foi colocado um relé de estado sólido 40VA para garantir a vida útil do potenciômetro.

Para a confecção do projeto será utilizada uma cuba de em média 4L, que será preenchida totalmente de detergente industrial, ao qual chegamos na conclusão de ser o meio mais viável e eficaz para se realizar a limpeza, os transdutores piezoelétricos serão soldados na cuba, a demais também será utilizada uma cola AB para que a frequência gerada pelo mesmo consiga passar para a cuba sem dificuldades, possibilitando assim uma transferência de frequência eficaz e sem perturbações.

Inicialmente foi feita a junção dos transdutores com a placa geradora de ondas através de um conector KK, mas depois percebemos que poderia ser feita uma ligação direta, e o trocamos, após isso o potenciômetro foi instalado entre os fios e os transdutores piezoelétricos para que houvesse esse controle de potência e em consequência o controle da largura das ondas que chegariam nos transdutores piezoelétricos, os mesmos foram colados através da cola na cuba de 4L, fazendo com que o principal esteja pronto, depois disso foi utilizado uma fonte comum para que houvesse a alimentação normal para a placa, sendo utilizada corrente contínua de 220V, residencial.

Após a construção inicial do projeto testamos primeiramente com água a remoção das sujeiras, e foi constatado que já com água ele tinha a capacidade de retirar sujeiras sendo, pó e leves graxas rapidamente, em questão de 10 minutos, logo depois foram feitos mais testes para o maior funcionamento com sujeiras mais pesadas e por mais tempo, para realizar o teste de sua ação de trabalho prolongada,

os resultados foram que, apenas com água a capacidade de limpeza do mesmo é severamente reduzida, se fazendo necessário o uso de detergente industrial.

Para a demonstração do projeto resolvemos apenas colocá-lo em cima de uma base de madeira na qual três hastes de sustentação foram posicionadas, podendo assim a cuba ficar visível como um todo, e também acima da base foi colocado um pequeno compartimento para que os componentes da cuba ficassem protegidos de quaisquer respingos ou batidas, aumentando a segurança á danificações.

Neste pequeno compartimento para a melhor visualização dos componentes internos, na parte de cima foi decidido ser de um material transparente, melhorando a visualização dos mesmos sem a necessidade de abrir o local.

Para um encapsulamento mais sofisticado não é necessário tanto cuidado para a forma ou estilo, apenas uma caixa de qualquer formato com um local para a alocação dos componentes já é mais que o suficiente para deixar tudo bem estruturado.

Após os testes iniciais também está para ser discutido colocar botões com valores predefinidos no projeto para que sua utilização se torne mais simples e rápida, podendo regular sua frequência rapidamente para alta ou baixa com um clique de botão.

Principais problemas envolvidos no projeto foram colar os dois transdutores na cuba, a qual necessitava de extremo cuidado e tempo para que fosse tudo realizada corretamente e com eficácia.

E também colocar o potenciômetro foi de grande desafio, já que ele deveria estar colocado perfeitamente e regulado para os propósitos desejados, além de que também foi necessário realizar a implementação de um relé de estado sólido, para que ele pudesse fazer uma limitação da potência excessiva que estava chegando ao potenciômetro, ocasionando em sua queima após alguns minutos de uso, assim fazendo com que não extrapolasse a resistência necessária para nós e que não faltasse, fazendo com que a regulagem ficasse bem calibrada para todos os propósitos propostos.

Segundo Soares et al. (2019), a cavitação acústica ocorre pela formação e implosão de micro Bolhas, o que promove intensa energia localizada e auxilia na limpeza das superfícies.

2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

Para a confecção deste artigo científico foram utilizados 15 artigos, com 5 artigos entre eles recebendo mais relevância, sendo eles, "Projeto de um Transdutor Ultrassônico Flangeado para Aplicação em Limpeza de Dutos", "*A Review of UltraHigh Frequency Ultrasonic Transducers*", "*Ultrasound-assisted pesticide removal from fresh produce: A review*", "Avaliação do desempenho de detergentes para limpeza: validação de uma proposta" e "*Effect of lab procedures and ultrasonic bath cleaning on the pollution of customized implant abutments: an in vitro study*", que tratavam sobre respectivamente:

Descreve o desenvolvimento de um ultrassônico feito exclusivamente para dutos transportadores de óleo, envolvendo estudo matemático para a modelagem, estudo bibliográfico sobre o efeito piezoelétrico e uso de ferramentas computacionais para simulação. Com testes confirmando a eficácia do modelo apresentado no artigo.

Apresenta uma revisão abrangente sobre transdutores de alta frequência, abordando os princípios de funcionamento, técnicas de fabricação, desafios técnicos e possíveis áreas de aplicações para tais transdutores de frequência alta.

Realiza um estudo sobre o uso de ultrassônicos na remoção de resíduos de pesticidas em frutas e vegetais frescos, a técnica de cavitação acústica se mostrou extremamente eficaz na degradação de certos tipos de pesticidas, ajudando muito o processo de limpeza dos vegetais e frutas. O estudo aponta ser uma forma sustentável de remoção dos contaminantes nos produtos alimentícios.

Propõe um método para avaliar a capacidade de limpeza de detergentes em diferentes tipos de componentes, a partir da área da saúde como foco principal, como outros tipos de componentes, no estudo é apresentado gráficos da capacidade de limpeza de certos tipos de detergentes em diferentes situações.

Investiga a eficácia de limpeza em implantes dentários utilizando o ultrassom para efetuar a limpeza de sujidade superficial. O protocolo de limpeza envolvendo compressa com detergente e três rodadas no ultrassom revelaram uma melhor qualidade de limpeza do que as realizadas de forma manual e utilizando outros meios de limpeza, aprovando o método como extremamente eficaz.

2.1.1 METODOLOGIA CIENTÍFICA

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa aplicada e experimental, com abordagem quantitativa. O foco está no desenvolvimento de um protótipo funcional de cuba ultrassônica, voltado para a limpeza de peças do ramo industrial.

Conforme Ramos et al. (2010), a pesquisa aplicada e experimental permite avaliar de forma direta a eficácia do protótipo em condições reais. A metodologia é feita com base na construção do sistema e na análise de sua eficiência, usando testes e observações sistemáticas. Foram utilizados artigos científicos, documentos técnicos e manuais de fabricantes para o projeto.

O protótipo foi montado com o uso de transdutores piezoelétricos, cuba de aço inox e detergente industrial, simulando condições reais de uso.

Os testes envolverão a submersão de peças metálicas sujas como parafusos e porcas e a medição da eficácia da limpeza em diferentes tempos.

Os dados serão registrados por meio de observação visual e a utilização de um pano para verificar a quantidade de sujidade em que será retirada no mesmo depois da limpeza.

2.2 TÓPICOS DE FUNDAMENTAÇÃO

A fundamentação teórica deste projeto está estruturada em quatro principais eixos: 1- Funcionamento da limpeza ultrassônica; 2- O fenômeno da cavitação; 3- Os transdutores piezoelétricos; 4- Aplicação industrial do sistema.

Nascimento et al. (2006) afirma que os fundamentos físicos da cavitação e os aspectos técnicos dos transdutores são essenciais para a compreensão do funcionamento da limpeza ultrassônica.

Além disso, foram utilizados estudos recentes para sustentar as decisões técnicas tomadas durante o projeto. Os principais autores e fontes consultadas foram, CHEN (2022), TAN (2020), ALVARENGA (2021), NASCIMENTO (2025), SOARES (2019) e RAMOS (2010), que abordam desde os fundamentos físicos da cavitação até os aspectos técnicos dos transdutores.

2.3 RECURSOS NECESSÁRIOS

Para a construção do protótipo da cuba ultrassônica foram necessários os seguintes recursos: uma cuba de aço inoxidável de 4L, 2 Transdutores piezoelétricos, um relé de estado sólido, um potenciômetro de 10k ohm, uma placa geradora de onda, 1L de detergente industrial, 1L de álcool 70%, peças metálicas para teste (parafusos, porcas e chapas pequenas), 6 fios de 1mm x 10cm, uma chapa de madeira para a base da do protótipo, 3 hastes de madeira para sustentação, 20 parafusos, 3 cotoveleiras média para suporte, 3 cotoveleiras pequenas para suporte, uma dobradiça flexível e também uma chapa de plástico para o compartimento dos componentes.

2.4 CRONOGRAMA

Fora realizada a confecção de um cronograma base para a maior eficiência do projeto, sendo alocados tempos estimados para que cada componente do projeto seja realizado.

As tarefas foram organizadas em um estilo de cascata, em que a realização da próxima tarefa é dependente da anterior para que não houvesse lacunas nas pendências e o grupo como um todo pudesse focar em cada tarefa.

Para cada tarefa fora realizada a alocação de uma pessoa como líder, com base nas melhores competências de cada um e também para que nenhuma pessoa do grupo ficasse sobrecarregada com as obrigações.

O cronograma foi dividido em meses, e em cada mês é possível visualizar o tempo em que a tarefa estava sendo realizada, com o retângulo totalmente preenchido de preto significa que a tarefa passou o mês todo sendo realizado, a parte de cima diagonal preenchido significa que durante a primeira metade do mês a tarefa estava sendo realizada e por fim a parte diagonal inferior preenchida quer dizer que a tarefa passou a segunda metade do mês sendo realizada.

Quadro 1 - Cronograma

Tarefas	fev.	mar.	abr.	maio	jun	jul.	ago.	set.	out.	nov.	Responsável
Pesquisar temas											Roberto
Escolher o tema											Lucas
Pesquisar artigos											Roberto
Dimensionar componentes											Glauco
Monografia											Lucas
Compra dos componentes											Lucas
Cronograma											Miguel
Testes											Glauco
Banner											Bruno
Treino para a banca											Lucas
Revisão geral											Bruno

Fonte: Autoria própria

2.5 DESENHOS E DETALHAMENTOS

Na placa há entrada de tensão CA 127/220V seguindo para componentes de proteção, os quais protegem contra sobretensão e curto-circuito, para que torne o processo mais seguro.

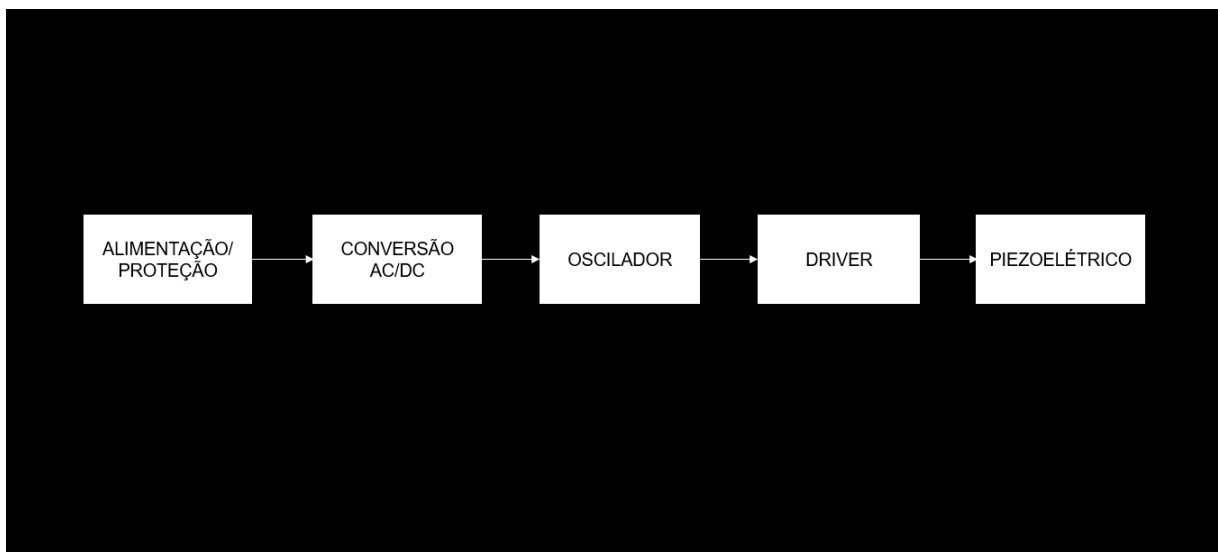
Após os componentes de proteção é feita a conversão de tensão alternada para tensão contínua, a qual é baixa, pois os componentes trabalham majoritariamente em tensão contínua.

A tensão contínua é convertida em tensão de pulsos, em baixa tensão, porque o piezoelétrico responde por pulsos.

Os pulsos de baixa tensão são ampliados para pulsos de alta tensão, com a finalidade do piezoelétrico ser capaz de ler o sinal.

Os piezoelétricos recebem os pulsos de alta tensão e os transformam em ondas mecânicas, vibração, a qual criará as microbolhas que causam cavitação e fazem a limpeza.

Quadro 2 - Diagrama de Blocos



Fonte: Autoria própria

2.6 CUSTOS

Por Ramos et al. (2010) entende-se que o desenvolvimento de cubas de baixo custo possibilita maior acessibilidade e aplicação acadêmica.

Para o protótipo fora realizada a compra de diversos itens, sendo eles citados em área de Recursos, vale ressaltar que a escolha dos componentes foi realizada sempre com uma visão de custo benefício.

Assim podemos obter um protótipo com um preço baixo, mas com peças de qualidade, evitando mal funcionamento, ou o desgaste muito elevado dos componentes utilizados.

Dessa forma permitindo testes mais exaustivos e completos do projeto sem medo de ocorrer qualquer falha, queima ou desgaste dos mesmos, por conta da facilidade de conseguir as peças e também seu baixo preço, permitindo que a troca de componentes seja muito facilitada.

Tabela 1 - Custos

Componentes	Custo + Frete	
Transdutor	R\$	160,00
Cola AB	R\$	10,00
Relé de Estado Sólido	R\$	55,00
Potenciometro	R\$	8,00
Cuba	R\$	56,00
Detergente Industrial	R\$	47,00
Álcool 70%	R\$	10,00
Hastes de suporte	R\$	16,00
Placa de Ultrassom	R\$	170,00
Total	R\$	532,00

Fonte: Autoria própria

2.7 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

Para a construção usamos uma cuba de 4L, 2 piezoelétricos de 40k Hz, uma placa geradora de ultrassom de potência máxima 120W e tensão máxima de 220V CA e um potenciômetro de 10k ohm.

Foi escolhido uma cuba de 4L por sua praticidade em testes e na apresentação, a frequência dos piezoelétricos foi escolhida pensando em uma frequência adequada para os testes, com uma potência fácil de usar e também para os propósitos das pequenas e médias indústrias, ou seja, para componentes como porcas, parafusos e derivados dos mesmos, a placa geradora de ultrassom foi escolhida por causa de sua potência que se encaixa bem nas funcionalidades que almejamos, o potenciômetro de 10k ohm foi escolhido devido a sua grande resistência podendo variar a potência para valores bem específicos.

Na montagem do protótipo colamos os piezoelétricos na base da cuba com uma cola AB e a deixamos secar por 1 dia, na placa geradora de ultrassom nós soldamos um cabo de tensão na fonte para podermos ligar a placa, e soldamos entre a saída da placa e o transdutor um potenciômetro, após a secagem da cola AB nós soldamos fios entre a saída da placa e os piezoelétricos.

Após fazer a parte da junção dos componentes montamos uma base para que a cuba pudesse ser colocada em cima para a apresentação, e logo mais decidimos deixar a cuba suspensa para que a visualização da cuba por inteira e dos transdutores piezoelétricos ficasse mais fácil.

Para isso houve a necessidade de pensarmos em uma forma de deixa-la suspensa, o qual resolvemos colocando duas hastes de madeira apoiadas por cotoveleiras de suporte

Figura 1 - Cuba apoiada



Fonte: Autoria própria

Figura 2 - Hastes com Cotoveleira



Fonte: Autoria própria

Depois de colocada a cuba a cima do suporte percebemos que ela estava bamba, então decidimos colocar mais uma haste na parte de trás da base para que ficasse tudo devidamente fixado.

Figura 3 - Base com 3 Suportes



Fonte: Autoria própria

E para que houvesse um pouco mais de segurança para o protótipo resolvemos também confeccionar um pequeno compartimento na parte direita anterior da cuba onde ficariam todos os componentes guardados.

Figura 4 - Cuba Completa



Fonte: Autoria própria

2.8 PROTOCOLO DE TESTES

Para a realização dos testes resolvemos utilizar 3 tipos diferente de líquido para verificar suas eficácias na limpeza das sujidades, os 3 líquidos utilizados foram o detergente industrial, água e álcool 70%.

Esperamos encontrar diferentes resultados utilizando os 3 líquidos, sendo o detergente industrial o melhor em todas as ocasiões de limpeza nas sujidades mais comuns na indústria, como óleo, graxa e poeira.

O álcool para sujidades mais leves como a gordura, não sendo o mais ideal para limpezas pesadas, com seu principal papel sendo a limpeza de microrganismos nas superfícies.

E a água sendo um limpador mais geral, mais fraco que o detergente industrial, mas podendo também ser usado em qualquer ocasião sem risco de danificar os objetos que estão sendo limpos, claro excluindo os objetos oxidáveis, pois a água em contato constante com esses objetos pode ocasionar corrosão no mesmo.

Serão realizados testes aumentando a cada vez em 10% a força total do transdutor piezoelétrico, ou seja, começando em 8k Hz até 80k Hz.

As sujidades que serão testadas serão a poeira, gordura e óleo, utilizando dos líquidos anteriormente citados, sendo 30 testes em cada líquido para uma verificação precisa da eficácia na remoção de sujidade e também para calcular a potência de melhor custo benefício para limpeza.

2.8.1 EXECUÇÃO DOS TESTES

Primeiramente foi utilizada a água para a remoção de poeira, depois óleo e em seguida gordura, sendo feito o mesmo procedimento em sequência para o álcool e para o detergente industrial.

Após cada teste foi anotado em uma planilha o tempo em que demorou para remover a sujidade e a força em que os transdutores estavam.

Os resultados para melhor visualização foram arredondados, e também para facilitar o cálculo de melhor custo benefício, sempre realizando o arredondamento mais próximo do número inteiro.

A cada minuto era feito uma avaliação visual do estado dos objetos, e a cada 5 minutos o mesmo era retirado da cuba para fazer uma verificação através da passagem de um pano em sua superfície para melhor verificação da sujidade ainda presente.

2.8.2 COLETA DE DADOS DOS TESTES

A coleta de dados dos testes foi realizada em uma sequência, primeiro os objetos foram submergidos na água, na ordem de sujidade, poeira, óleo e gordura, e também para os demais líquidos na mesma ordem.

Os dados coletados do experimento da água foram variados, com a tabela do objeto com a sujidade poeira que está sendo demonstrada a seguir é possível verificar que a velocidade de limpeza não foi linear, o mesmo também será válido para todos os outros testes, e também foi identificado que o melhor custo benefício seria utilizar o piezoelétrico a 70% de sua força total.

Tabela 2 - Sujidade Poeira na Água

10%	18 min
20%	15 min
30%	13 min
40%	10 min
50%	8 min
60%	6 min
70%	4 min
80%	3 min
90%	2 min
100%	1 min

Fonte: Autoria própria

Em seguida os testes com o óleo produziram resultados muito semelhantes com o da gordura, a água até 70% apresentou dados inconclusivos, pois não foi capaz de retirar a sujidade mesmo depois de muito tempo submersa no líquido, apresentando um resultado em que seu custo benefício está em 80%, apesar de não ser indicado utiliza-lo para limpar óleo.

Tabela 3 - Sujidade Óleo em Água

10%	-----
20%	-----
30%	-----
40%	-----
50%	-----
60%	-----
70%	30 min
80%	28 min
90%	27 min
100%	26 min

Fonte: Autoria própria

Seguindo a ordem o teste para a sujidade de gordura foi realizado em seguida, apresentando resultados semelhantes, mas não tão intensos quanto do óleo, apenas a partir de 40% foi possível ver uma mudança visível na sujidade sendo removida, com seu custo benefício estando em torno de 70%.

Tabela 4 - Sujidade de Gordura na Água

10%	----
20%	----
30%	----
40%	40 min
50%	38 min
60%	36 min
70%	34 min
80%	33 min
90%	32 min
100%	31 min

Fonte: Autorial própria

Após os testes na água como dito anteriormente fora realizado na mesma ordem os testes em álcool, a primeira sujidade foi a poeira, a qual apresentou resultados em geral inferiores ao da água, e seu custo benefício está em realizar a limpeza em 100%.

Tabela 5 - Sujidade da Poeira no Álcool

10%	22 min
20%	21 min
30%	20 min
40%	18 min
50%	16 min
60%	13 min
70%	11 min
80%	8 min
90%	5 min
100%	2 min

Fonte: Autorial própria

Em sequência a limpeza de óleo no álcool apresentou resultados muito melhores do que na água, sendo capaz de limpar mesmo que sem eficiência alguma desde o início, com seu maior rendimento sendo em 100% também.

Tabela 6 - Sujidade de Óleo em Álcool

10%	37min
20%	36min
30%	35min
40%	32min
50%	29min
60%	26min
70%	23min
80%	20min
90%	17min
100%	12min

Fonte: Aatoria própria

E por último novamente foi coletado os dados da gordura no álcool, o qual também apresentou resultados muito superiores à água, com seu rendimento sendo em geral bem alto e seu rendimento máximo em 60%.

Tabela 7 - Sujidade da Gordura no Álcool

10%	20 min
20%	18 min
30%	16 min
40%	14 min
50%	12 min
60%	10 min
70%	9 min
80%	8 min
90%	7 min
100%	6 min

Fonte: Aatoria própria

Por último foram coletados os dados das diferentes sujidades no detergente industrial, que como previsto apresentou uma eficácia muito superior aos demais líquidos em todas as áreas testadas, realizando a limpeza da poeira em potência máxima em menos de 1 minuto, com sua eficácia máxima de custo benefício em 100%.

Tabela 8 - Sujidade de Poeira no Detergente Industrial

10%	20 min
20%	19 min
30%	18 min
40%	16 min
50%	14 min
60%	11 min
70%	8 min
80%	4 min
90%	1 min
100%	<1 min

Fonte: Aatoria própria

Consequente foi coletado os dados do óleo no detergente industrial, também apresentando resultados superiores aos demais líquidos em uma parcela significativa, com seu melhor custo benefício sendo em 90%.

Tabela 9 - Sujidade de Óleo no Detergente Industrial

10%	25 min
20%	24 min
30%	23 min
40%	21 min
50%	19 min
60%	17 min
70%	14 min
80%	11 min
90%	7 min
100%	3 min

Fonte: Aatoria própria

Por último foi feito a coleta do detergente industrial na gordura, aonde também produziu resultados excepcionais e dentro das expectativas sobre o mesmo, com sua eficiência máxima em 100%.

Tabela 10 - Sujidade de Gordura no Detergente Industrial

10%	21 min
20%	20 min
30%	19 min
40%	18 min
50%	17 min
60%	15 min
70%	12 min
80%	9 min
90%	6 min
100%	3 min

Fonte: Aatoria própria

2.8.3 ANÁLISE DOS DADOS DOS TESTES

Principal característica que fora observado ao realizar os testes e coletar os resultados foi que em nenhum caso a eficácia foi linear, conforme se aumentava a frequência ele não aumentava proporcionalmente em todos os pontos, e a partir de um certo limite foi o processo contrário, em que a eficácia estava diminuindo cada vez mais apesar de aumentar ainda mais a potência da frequência.

Ademais foi observado corretamente a eficácia do detergente industrial, conseguindo atingir todas as expectativas que nele foram impostas, sendo ela a que ele conseguiria alcançar os melhores resultados, apesar de outros líquidos chegarem perto em determinados tipos de sujidades, nenhum nem mesmo conseguiu o ultrapassar na eficácia.

Apesar de ele ser o melhor também foi observado que em determinadas circunstâncias por conta de seu preço compensaria utilizar de outros líquidos, fazendo com que o processo de limpeza ficasse mais barato, aumentando ainda mais o custo benefício de se utilizar a cuba ultrassônica.

Contudo também vale ressaltar que o detergente industrial é o método com menos possibilidade de danificar ou corroer algum objeto entre os mostrados

anteriormente, então sempre se atentar ao mesmo quando se estiver colocando itens para serem limpos na cuba.

2.9 MELHORIAS

Com o funcionamento do projeto nós pensamos em melhorias para futuras versões do mesmo, uma delas sendo, a integração de uma tela mostrando a amplitude da onda e a sua alteração via potenciômetro.

Seria possível assim inserir uma interface capaz de regular o tempo em que uma peça demoraria para ser limpa e até mesmo adicionar botões com pré-programações para já realizar a limpeza de peças comuns como molas e parafusos, da mesma forma que encontramos em micro ondas residenciais com botões específicos para pipoca e descongelar.

Escrig et al. (2020) ressalta que a inserção de controles digitais e sensores auxilia no aprimoramento de sistemas ultrassônicos, ampliando sua usabilidade, entre outras funcionalidades.

2.10 ASPECTOS POSITIVOS

O projeto da cuba ultrassônica apresentou determinados pontos positivos, entre eles encontra-se a eficiência na remoção de sujeira seja uma limpeza mais expressiva ou refinada, outro aspecto é a economia de tempo se destacando de métodos tradicionais de limpeza à mão, e podendo ter mais de uma peça sendo higienizada ao mesmo tempo a depender de seu tamanho.

2.11 RISCOS

A operação da cuba ultrassônica pode apresentar alguns riscos para aquele que o utiliza, manipulação de produtos químicos como detergentes industriais podem causar riscos à saúde se houver contato direto com a pele ou inalação por vapores sendo necessário a utilização de EPI para prevenção de acidentes, presando pela saúde daqueles que a manuseiem.

Cubas ultrassônicas operando a 40k Hz podem aquecer durante o uso, apresentando risco de queimaduras ao operador em decorrência do contato com o líquido quente gerado pelo processo de cavitação.

2.12 DIFERENCIAIS

O diferencial encontra-se em sua construção de baixo custo e eficiência na limpeza, Tan et al. (2020) Afirma que o baixo custo aliado à eficiência da limpeza são fatores que diferenciam as cubas ultrassônicas de outros métodos.

O projeto conta com dois transdutores piezoelétricos com capacidade de regulação em sua frequência de operação para se obter o melhor resultado a depender de sua necessidade, a utilização do detergente industrial maximiza o desempenho e otimiza o processo além de ampliar seu uso industrial e mecânico.

2.13 RECOMENDAÇÕES

Recomendamos o uso de uma fonte de alimentação estabilizada, pois isso ajuda a proteger os transdutores piezoelétricos e a placa de controle.

Seria interessante testar diferentes tipos de detergente Industrial para analisar variações de desempenho na remoção de variados tipos de sujeira.

Uma sugestão para melhora seria o incremento de um sensor de temperatura e um temporizador para melhor controle no processo de limpeza.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento da cuba ultrassônica apresentou resultados bastante positivos e mostrou que é possível aplicar essa tecnologia de forma eficiente e acessível na limpeza de peças industriais.

Durante os testes realizados, foi possível perceber que o sistema conseguiu remover sujeiras tanto em superfícies externas quanto em áreas de difícil acesso das peças, o que comprova a eficácia do processo de cavitação.

O projeto demonstrou ser eficaz na remoção da sujeira, superando em custo benefício os métodos tradicionais ou manuais de limpeza poupando esforço e tempo do operador.

Único objetivo a qual a cuba ultrassônica ficou aquém foi a eficiência em diferentes líquidos na remoção de sujidade, com a água e o álcool ficando com uma eficiência abaixo da esperada, fazendo com que a cuba não seja muito indicada ao se utilizar esse tipo de líquido.

A partir dos resultados encontrados pode se concluir a eficiência da cuba ultrassônica e potencial para aprimoramento futuro e seu incremento em setores industriais e mecânicos onde se tem a necessidade de limpeza de peças e componentes de forma rápida e eficiente.

Segundo Roth et al. (2023), os protocolos de limpeza com ultrassom se mostraram mais eficientes do que métodos manuais na remoção de resíduos.

3.1 TRABALHOS FUTUROS

Posteriormente no projeto poderia ser colocada uma forma de visualizar o tamanho das ondas, um controle de temperatura, assim fornecendo uma maior gama de possibilidades de uso do mesmo, fazendo com que até materiais mais específicos estejam seguros de não serem danificados na limpeza.

Também foi pensado o uso de materiais mais resistentes e com maior capacidade de aguentar tensão contínua de uso, assim possibilitando que a cuba seja utilizada mais extensivamente por longas horas sem o perigo de danificá-lo.

REFERÊNCIAS

ALBRECHT, Lucimara. **MÁQUINAS LAVADORAS ULTRASSÔNICAS DE INSTRUMENTOS ODONTOLÓGICOS, MÉDICOS E CIRÚRGICOS: AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO PROCESSO DE LIMPEZA**. 2013. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/517/1/CT_CPGEI_M_Albrecht%2c%20Lucimara_2013.pdf. Acesso em: 14 abr. 2025.

ALVARENGA, Priscila Donatti Leão; CAVATTI, Laila Silva; VALIATI, Bárbara Santos; MACHADO, Bruna Gasparini; CAPUCHO, Lohan Covre; DOMINGOS, Manuelli Monciozo; SILVA, Marcela Nobre; VIEIRA, Mariana de Souza; JOSÉ, Jackline Freitas Brilhante de São. **Aplicação do ultrassom no processamento de frutas e hortaliças: *application of ultrasound in fruits and vegetables processing***. 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjft/a/mWbwW66WBWxFhbLFJdnCHtv/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 14 abr. 2025.

BECKER, Michael; BALLE, Frank. **Multi-Spot Ultrasonic Welding of Aluminum to Steel Sheets: Process and Fracture Analysis**. 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-4701/11/5/779>. Acesso em: 14 abr. 2025.

BRUNA, Camila Quartim de Moraes; GRAZIANO, Kazuko Uchikawa. **Avaliação do desempenho de detergentes para limpeza: validação de uma proposta**. 2023. Disponível em: https://acta-ape.org/wp-content/uploads/articles_xml/1982-0194-ape-36-eAPE00301/1982-0194-ape-36-eAPE00301.pdf. Acesso em: 14 abr. 2025.

ESCRIG, J.; WOOLLEY, E.; SIMEONE, A.; WATSON, N.J.. **Monitoring the cleaning of food fouling in pipes using ultrasonic measurements and machine learning**. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956713520302255>. Acesso em: 14 abr. 2025.

ESTRELA, Carlos et al. **Antimicrobial Potential of Ozone in an Ultrasonic Cleaning System Against Staphylococcus aureus**. 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bdj/a/ScXPDzmswsXxzkJxmmmkkqNH/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 14 abr. 2025.

FERREIRA, Daniel da Silva Pereira. **Conservação e restauro de peças de ferro e de liga de cobre: o caso da coleção arqueológica subaquática do Estuário do Tejo**. 2022. Dissertação (Mestrado em Conservação e Restauro) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa, Lisboa, 2022. Disponível em: https://run.unl.pt/bitstream/10362/158345/1/Ferreira_2022.pdf. Acesso em: 13 out. 2025.

FILIBELI, Ayse; ERDEN, Gulbin; GUNDUZ, Cimen. **ULTRASONIC PRE TREATMENT OF WASTEWATER SLUDGE FROM A MEAT PROCESSING INDUSTRY**. 2018. Brazilian Journal of Chemical Engineering. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjce/a/dHPqd9n84Gh4WNLz8hs7VHt/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 14 abr. 2025.

J, Chen; C, Fei; D, Lin; P, Gao; J, Zhang; Y, Quan; D, Chen; D, Li; Y, Yang. **A Review of UltraHigh Frequency Ultrasonic Transducers**. 2022. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/materials/articles/10.3389/fmats.2021.733358/full>. Acesso em: 13 abr. 2025.

KIM, Jae-Young; OH, Shinyoung; PARK, Young-Kwon. **Overview of biochar production from preservative-treated wood with detailed analysis of biochar characteristics, heavy metals behaviors, and their ecotoxicity**. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.05.004>>. Acesso em: 13 abr. 2025.

NASCENTES, Clésia C.; KORN, Mauro; SOUSA, Clarivaldo S.; ARRUDA, Marco A. Z.. **Use of Ultrasonic Baths for Analytical Applications: A New Approach for Optimisation Conditions**. 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jbchs/a/rTVbW4csKg7pVFttMfywdCS/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 14 abr. 2025.

NASCIMENTO, Luiz Carlos do; LIMA, Luiz Carlos de Oliveira; PICOLLI, Roberta Hilsdorf; FIORINI, João Evangelista; DUARTE, Stella Maris da Silveira; SILVA, José Maurício Schneedorf Ferreira da; OLIVEIRA, Nelma de Mello Silva; VEIGA, Sandra Maria de Oliveira Morais. **Ozônio e ultrassom: processos alternativos para o tratamento do café despulpado: ozone and ultrasound: alternative processes in the treatment of fermented coffee**. 2006. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cta/a/vdMCFLSgx8thSxSnHrQxvN/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 14 abr. 2025.

RAMOS, Carolina Tinoco. **Desenvolvimento do modelo 3D de uma cuba de limpeza de baixo custo para aplicações acadêmicas**. 2010. Disponível em: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/13568/7876>. Acesso em: 13 abr. 2025.

ROTH, Déborah et al. **Effect of lab procedures and ultrasonic bath cleaning on the pollution of customized implant abutments: an in vitro study**. 2023. Disponível em: <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/301077/1/Manuscrit%20DETOX1.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2025.

SOARES, Evilazio Coelho; SOARES JÚNIOR, Luiz Carlos Simões; PEPE, Iuri Muniz. **PROJETO DE UM TRANSDUTOR ULTRASSÔNICO FLANGEADO PARA APLICAÇÃO EM LIMPEZA DE DUTOS**. 2019. Disponível em: <https://pdf.blucher.com.br/engineeringproceedings/siintec2019/42.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2025.

TAN, Jhang Aik; MOHAN, Yogeswaran; LIEW, Kwok Jee; LIEW, Kwok Jee; POH, Phaik Eong. ***Development of an effective cleaning method for metallic parts using microbubbles***. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620311239>. Acesso em: 13 abr. 2025.