

Eixo Temático ET-05-002 - Recursos Hídricos

## TRATAMENTO DE ÁGUAS DE TANQUES DE CRIAÇÃO DE TILÁPIAS POR OZÔNIO GERADO A PARTIR DE UM PROTÓTIPO ALIMENTADO A ENERGIA SOLAR

Luiz Antonio Pimentel Cavalcanti<sup>1</sup>, Laércio Ferro Camboim<sup>2</sup>, Ramon Borges Cordeiro<sup>3</sup>,  
Mônica Cavalcanti Pedrosa Brandão<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA, Campus Paulo Afonso, Bahia. E-mail: luiz.cavalcanti@ifba.edu.br.

<sup>2</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA, Campus Paulo Afonso, Bahia. E-mail: camboimengenharia@hotmail.com.

<sup>3</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA, Campus Paulo Afonso, Bahia. E-mail: ramon\_gratz@hotmail.com.

<sup>4</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA, Campus Paulo Afonso, Bahia. E-mail: monica.brandao@ifba.edu.br.

### RESUMO

O grande avanço das indústrias causa sérios danos ao meio ambiente, estes são visivelmente decorrentes principalmente da poluição emitida em forma de gases e efluentes. No entanto, a maioria das empresas vem buscando alternativas que sejam ao mesmo tempo rápidas e eficientes para diminuir a degradação do meio. Em relação à emissão de efluentes, existem pesquisas recentes que buscam métodos para tratar de maneira eficaz a água residual descartada em processos industriais, dentre esses métodos, destaca-se a utilização de ozônio. O presente artigo retrata o desenvolvimento de um protótipo de gerador de ozônio sustentável e de baixo custo, com a finalidade de produzir o gás a partir do efeito corona formado por geradores de alta tensão, utilizando painéis fotovoltaicos como fonte de energia. O projeto objetivou por meio da utilização de conceitos de eletrônica e eletrotécnica, formas de aumentar a eficiência do aparelho, de modo que seja possível produzir o gás em quantidades suficientes para a realização de testes e simulações laboratoriais em busca do aperfeiçoamento da aplicação do ozônio no tratamento de efluentes líquidos. Após a construção do protótipo a constatação da produção do ozônio se deu por borbulhamento de fluxo de saída do reator diretamente em uma solução de iodo solúvel/iodeto de potássio. Tal constatação foi obtida pela mudança de coloração da solução de incolor para azul escuro intenso. Ao término do trabalho, foram realizados experimentos no tratamento da água proveniente de tanques de piscicultura, na qual foi constatada através de medições com o aparelho multiparâmetros.

**Palavras-chave:** Gerador de Ozônio; Efeito Corona; Tratamento de Efluentes.

### INTRODUÇÃO

Um dos fenômenos mais comuns encontrados na engenharia elétrica de potência é o efeito corona, sendo este um mecanismo de descarga eletrostática devido à ionização de um material isolante, geralmente visto em gases submetidos a um campo elétrico com intensidade suficiente para romper a sua rigidez dielétrica (LOPES, 2016).

Em linhas de transmissão de energia elétrica o efeito corona causa alguns transtornos, uma vez que representa perda de energia para as concessionárias, podendo representar centenas de *quilowatts* por quilometro de condutor para linhas de transmissão com tensão extra elevada (WEDY, 2009). Contudo o efeito também conhecido como descarga corona não apresenta apenas desvantagens, possuindo aplicações na indústria como, por exemplo, a remoção de cargas indesejáveis em superfícies de aeronaves, e em especial na produção de ozônio (SCHIAVON, 2013).

Uma das aplicações do ozônio é o tratamento de efluentes, que tem se mostrado bastante eficiente e adequado na eliminação de substâncias resistentes à degradação nos sistemas convencionais de tratamento, sobressaindo-se em relação à utilização do cloro e do peróxido de hidrogênio. Esta técnica tem sido bastante sugerida, pois a sua utilização torna a água com baixa turbidez e demanda química de oxigênio (FERNANDES, 2010). Os recentes avanços nessa forma de tratamento tem resultado numa considerável redução dos custos envolvidos em sua aplicação, tornando-a cada vez mais atrativa (CASTILHOS, 2015).

Dentre os métodos para produção do gás destacam-se a obtenção por eletrólise, caracterizada pela dificuldade de manipulação do ozônio; a radiação ultravioleta, que não atende as necessidades da indústria devido ao seu alto custo e baixo rendimento e por fim a produção por descarga corona, que produz quantidades significativas, sendo o método mais utilizado para a obtenção do produto (MAIDANA et al., 2015).

Devido à alta instabilidade da molécula, seu armazenamento torna-se inviável, implicando em uma produção *in situ*. A ozonização é um processo de absorção gasosa com reação química onde a etapa limitante do processo é a transferência de massa devido à baixa solubilidade do ozônio na água (FORNARI, 2011).

O efeito corona gera ozônio através de uma alta tensão tal que produza um campo elétrico forte o bastante para romper a rigidez dielétrica do ar presente entre os eletrodos, onde os elétrons livres atingem altas velocidades, quebrando as moléculas de oxigênio que ao reagruparem-se formam ozônio, composto com alto poder oxidante (LOPES, 2016).

O processo de descarga elétrica, que consiste na aplicação de uma diferença de potencial na ordem de *quilovolts* nos eletrodos do reator, pode ser obtida a partir da utilização de um conversor *flyback*, excitado por um oscilador de alta frequência, dessa forma o *flyback* atua como um transformador de alta tensão. Dentre os circuitos existentes, destaca-se o oscilador *Hartley* uma vez que ele atende a demanda por alta frequência e seu uso torna possível a utilização de valores de corrente superiores a outros tipos de osciladores, o que implica em uma potência mais alta na saída do transformador (LOPES, 2016).

A energia solar tem uma grande utilidade com relação à fonte de alimentação renovável e sustentável, mesmo havendo desafios que ainda devem ser superados, tais como o custo dos módulos fotovoltaicos e a confiabilidade dos equipamentos eletrônicos associados. A utilização de painéis fotovoltaicos em edificações e indústria tem se mostrado uma alternativa de grande viabilidade no ponto de vista econômico e ambiental, com o poder de reduzir os custos por consumo de energia enquanto reduz os impactos causados pela sua alta demanda por eletricidade (SANTOS, 2009).

O presente trabalho objetivou avaliar a eficiência de um protótipo gerador de ozônio de baixo custo a partir da reutilização de materiais de sucata de computadores e resíduos sólidos como garrafas PET, tubos metálicos e sobras de instalações elétricas. Seu princípio de funcionamento foi baseado na produção por efeito corona, possuindo painéis fotovoltaicos como fonte de energia, sendo aplicados conceitos de eletrônica e eletrotécnica para a construção de um sistema estável e sustentável. Tal sistema pretende viabilizar o processo de ozonização em escala laboratorial para sua utilização em estudos e em tratamento de efluentes.

## **OBJETIVO**

Avaliar a eficiência de um protótipo gerador de ozônio no tratamento das águas de tanques de criação de tilápias do Nilo alimentado energeticamente por energia solar fotovoltaica.

## **REFERENCIAL TEÓRICO**

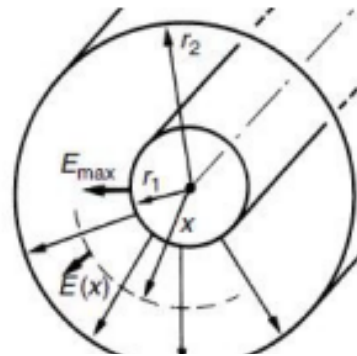
O efeito corona ocorre quando se tem um campo elétrico intenso que acelera os elétrons existentes em torno de um condutor, fazendo-os adquirir energia o bastante para chocar-se com outros átomos e assim liberar mais elétrons. Quando a colisão acontece com força suficiente, o átomo atingido passa a ter um estado de energia mais elevado, onde para voltar ao seu estado

inicial, é necessário que libere essa energia, podendo ser em forma de luz, calor, energia acústica e/ou radiações eletromagnéticas (SANSEVERINO, 2010).

Uma característica marcante é que esse fenômeno se torna mais presente nas pontas dos condutores, pois as cargas elétricas tendem a acumular-se em locais mais pontiagudos, tornando o campo elétrico mais intenso nesses pontos devido à grande densidade de cargas, fato conhecido como teoria das pontas. Um condutor cilíndrico com seção transversal bastante curta pode ter o mesmo efeito, uma vez que as cargas acumulam-se somente em sua superfície, que por sua vez possui uma área diminuta, causando uma grande densidade de cargas elétricas (GIUDICE et al., 2003).

A escolha de uma geometria adequada para um dispositivo capaz de ajudar nos estudos do efeito corona e ter uma produção significativa de ozônio é de suma importância, uma vez que certas configurações produzem arcos elétricos com mais facilidade que outras. O arranjo em cilindros coaxiais é frequentemente utilizado, pois a partir de um bom dimensionamento quanto as suas dimensões radiais, é possível obter uma maior intensidade de campo elétrico sem que haja total ruptura da rigidez dielétrica do ar (KUFFEL e KUFFEL, 2000).

A Figura 1 exibe um dispositivo com configuração em cilindros coaxiais. Como pode ser observado as linhas de campo elétrico para esta configuração são radiais, estando o seu módulo em função apenas da distância  $x$  do centro do cilindro.



**Figura 1.** Campo elétrico em cilindros coaxiais (Fonte: KUFFEL; KUFFEL, 2000).

Ao ser aplicada uma diferença de potencial entre os dois cilindros, as suas superfícies serão uniformemente carregadas com uma certa quantidade de cargas por unidade de área. É possível determinar o valor do campo elétrico  $E(x)$  no espaço entre os dois cilindros através da lei de Gauss, como pode ser observado na Equação 1:

$$E(x) = \frac{\rho}{2\pi\epsilon} \cdot \frac{1}{x} \quad [1]$$

Onde,  $\rho$  – densidade de cargas  
 $\epsilon$  – constante de permissividade  
 $x$  – distância do centro dos cilindros

A intensidade de campo elétrico  $E$  pode também ser obtida, a partir do negativo do gradiente da diferença de potencial  $V$ , como exposto nas Equações 2 e 3:

$$E = -\nabla V \quad [2]$$

Logo ,

$$E(x) = \frac{V}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \cdot \frac{1}{x} \quad [3]$$

Onde,  $r_2$  – Raio do cilindro externo

$r_1$  – Raio do cilindro interno

$V$  - Módulo da diferença de potencial

$x$  – distância do centro dos cilindros

Quando o nível de tensão no cilindro menor atingir o nível de ruptura, ocorrerá uma descarga corona estabilizada ou ruptura completa. É possível então determinar por meio da Equação 3, os parâmetros para que se tenha o máximo de efeito corona estabilizada, sem que a rigidez dielétrica do ar se rompa totalmente, sendo este o ponto ótimo para a produção de ozônio (KUFFEL e KUFFEL, 2000).

## MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia para desenvolvimento do sistema foi construída partindo desde o módulo fotovoltaico até o reator de ozônio. A Figura 2 apresenta em diagrama de blocos o funcionamento do protótipo:

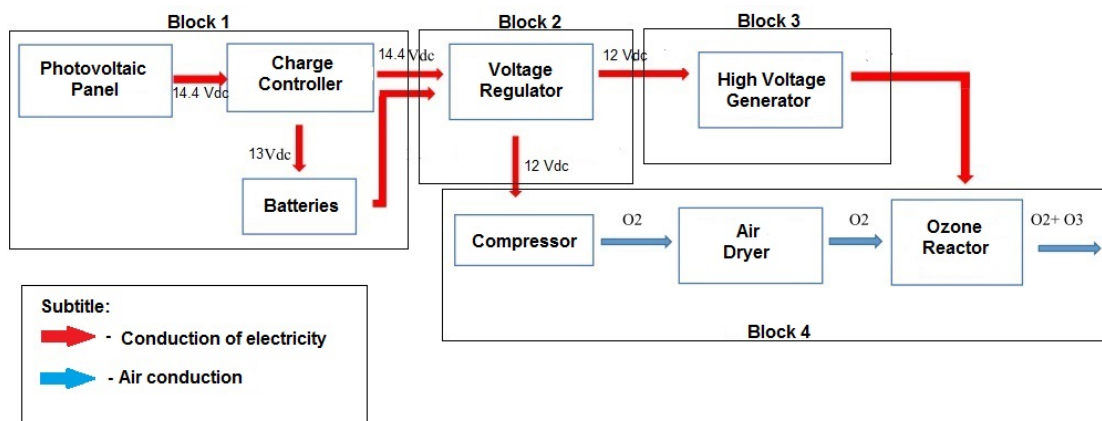


Figura 2 – Diagrama de blocos. Fonte: Autoria própria.

### Bloco 1 - Alimentação

A alimentação do circuito provém de uma placa fotovoltaica reaproveitada de sobras de uma instalação elétrica do IFBA *campus* Paulo Afonso, na qual fornece em sua saída uma tensão de 14,4 Vdc, com uma potência nominal de 100 Wp. Sendo assim, para que o funcionamento do protótipo não dependa diretamente da incidência de radiação solar, foi introduzido um conjunto de baterias resgatadas de sucatas de notebooks doados por assistências técnicas da cidade de Paulo Afonso.

Por tratar-se de um sistema isolado, foi necessário a presença um controlador de carga para recarregar a bateria quando necessário e cessar a alimentação quando a mesma estivesse em plena carga (Figura 3).

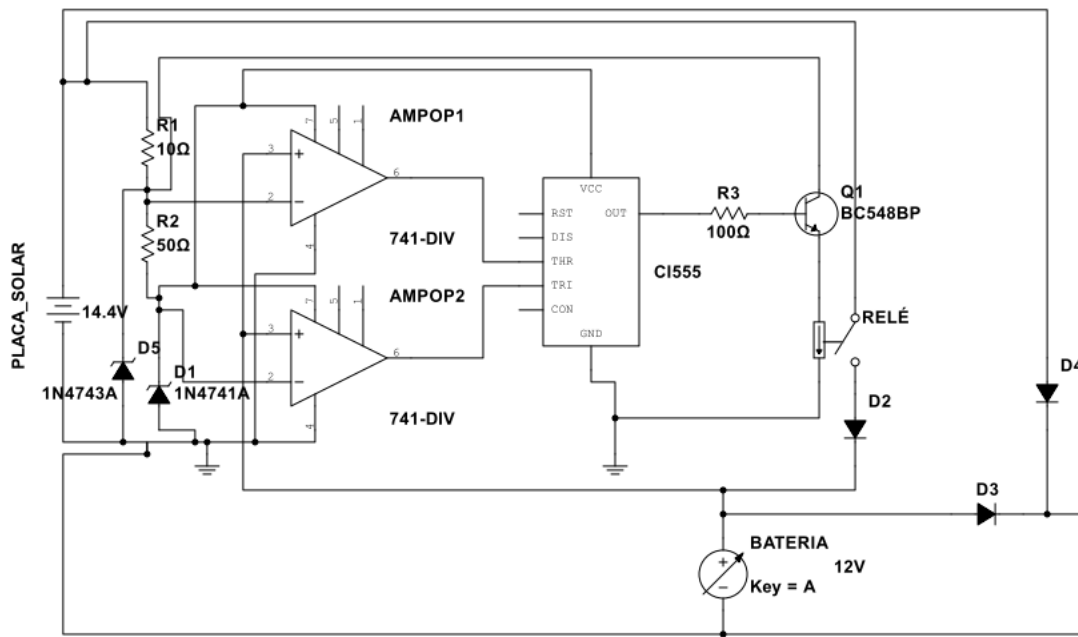


Figura 3. Circuito do controlador de carga. Fonte: Autoria própria.

**Bloco 2 - Regulação de tensão**

Para o funcionamento correto do circuito, bem como proteção do mesmo contra sobrecargas e correntes de pico, foram implementados reguladores de tensão, conforme indicado pelo bloco 2 da Figura 2, utilizando-se transistores 2N3055 (Figura 4).

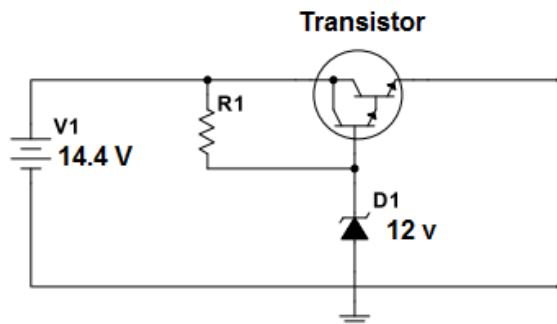


Figura 4. Regulação de tensão. Fonte: Autoria própria.

**Bloco 3 - Alta tensão**

Para que se tenha a produção de ozônio por efeito corona, foi utilizado um conversor *flyback* excitado por um oscilador *Hartley*. Tal sistema funciona como um transformador, elevando a tensão de entrada para um nível capaz de romper a rigidez dielétrica do ar. O circuito que compõe o gerador de alta tensão formado pela célula *oscilador Hartley* + *flyback* como mostrado na Figura 5.

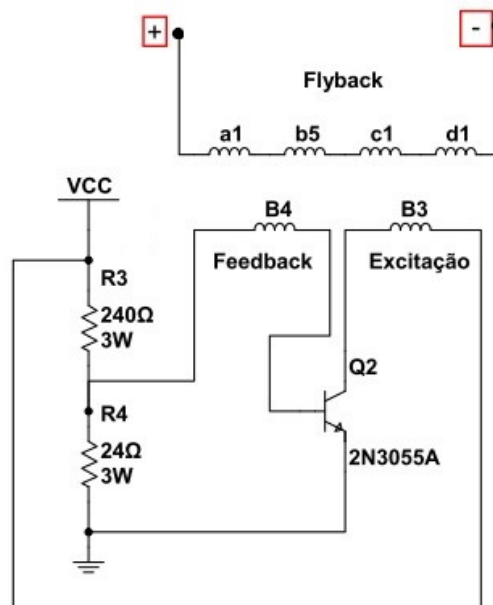


Figura 5 – Gerador de alta tensão. Fonte: Autoria própria.

### Bombeamento

Para insuflar o ar para dentro do reator do gerador de ozônio foi construído um mini compressor, composto por um motor de 12Vdc acoplado a um diafragma recuperado de uma sucata de nebulizador, que por sua vez é ligado a uma câmara com sílica para retirar a umidade do ar, que em seguida entra no reator de ozônio.

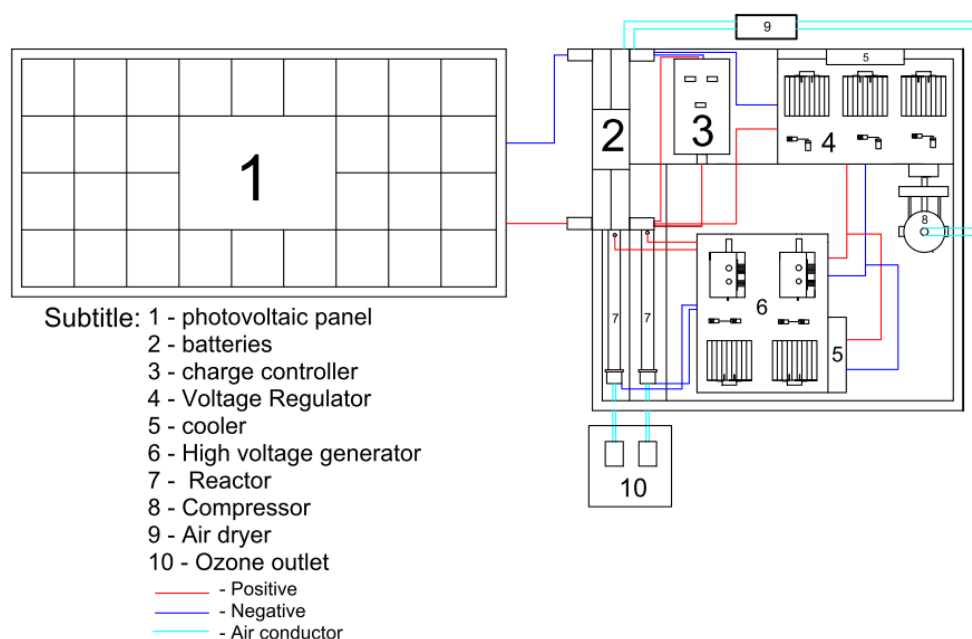
### Ionização do ar

Para a construção do reator de ozônio foi necessário avaliar a geometria adequada para promover a maior superfície de contato entre a superfície que ocorre o efeito corona e o ar. Para tanto foram estudadas duas geometrias, o arranjo em placas paralelas e o arranjo por cilindros coaxiais.

Foram utilizadas tampas de garrafas PET para servir como tampões no reator, uma vez que o tubo de cobre possui o diâmetro externo tal que se encaixa perfeitamente em uma tampa de garrafa PET, sendo assim, foi posto um tampão em cada lado do tubo metálico, onde havia apenas dois orifícios em cada lado, sendo um para servir de suporte para o fio interno e outro para a entrada e saída do ar.

### Modelo final

O protótipo foi construído conforme detalhamento apresentado nas seções anteriores e apresentou a configuração mostrada na Figura 6.



**Figura 6.** Diagrama de blocos da montagem final do protótipo. Fonte: Autoria própria.

### **Avaliação do funcionamento protótipo**

A avaliação do protótipo consistiu em dois testes, sendo o primeiro para certificar que havia a produção de ozônio e o segundo para observar o efeito do gás oxidante no tratamento de água em tanque de criação de peixes.

Para a realização do primeiro experimento, foi bombeado o gás de saída do protótipo em uma solução de contendo amido solúvel e iodeto de potássio, onde a princípio, este produto não possui coloração, contudo na presença de ozônio o iodeto é oxidado transformando-se em iodo, que por sua vez reage com o amido, modificando a sua coloração para azul escura.

Por fim, para determinar a eficiência do dispositivo no tratamento de efluentes, foi obtida uma amostra da água contida em um tanque de criatório de tilápias do Nilo no Departamento de Engenharia de Pesca da Universidade Estadual da Bahia (UNEB), campus VIII localizado na cidade de Paulo Afonso-BA na qual são criados em média 65 peixes por metro cúbico.

Foram realizadas análise das variáveis físicas e químicas da água de tanques de cultivo de tilápia do Nilo antes e após o tratamento com o protótipo gerador de ozônio. O tratamento utilizando o gerador de ozônio se deu por borbulhamento direto do gás na água bruta com tempo de exposição ao tratamento de 20 min. Parâmetros como pH, salinidade, condutividade e oxigênio dissolvido foram medidos pelo aparelho multiparâmetros do modelo *YSI Professional Plus*.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Concebido o protótipo e realizados os testes e discussões necessárias, obteve-se os seguintes resultados:

### **Bloco 1 – Alimentação**

Foi observado o correto funcionamento do protótipo ao ser alimentado à fonte de 14,4 V estando ela em paralelo com o banco de baterias e o controlador de carga. O controlador de carga desenvolvido também apresentou resultados satisfatórios, ao se conectar ao banco de baterias na qual o mesmo apresentava uma tensão de 11,4 Vdc, então o dispositivo foi acionado e permaneceu no mesmo estado até que as baterias atingiram a tensão de 13,3 Vdc.



### **Bloco 2 – Regulação de tensão**

A regulação de tensão, bem como o controle da corrente foi obtido com sucesso, sendo constatado que ao corrigir o fator de potência de um dos *flybacks* com um capacitor de 20 nF e alimentá-lo com uma tensão de 9 Vdc, foi obtido um melhor desempenho. O segundo componente não apresentou o mesmo resultado, permanecendo então sendo alimentado com 12 Vdc, contudo foi necessário tornar a sua célula de regulação de tensão mais robusta, então foi adicionado outro transistor 2N3055 em paralelo com o já existente. Como a corrente demandada pelo compressor é de 2 A, então o seu regulador de tensão foi construído com um transistor TIP122.

### **Bloco 3 – Alta tensão**

Buscando aumentar a intensidade do efeito corona, foi realizada a correção do fator de potência de um dos *flybacks*, bem como alterada a sua tensão de alimentação, conforme citado na sessão anterior.

### **Bloco 4 – Bombeamento e Ionização do ar**

O compressor desenvolvido apresentou o correto funcionamento, sendo capaz de bombear o ar através do reator, sem apresentar aquecimento ou falhas.

Foi observado que o reator produziu efeito corona ao longo do seu comprimento, sem a presença de arcos elétricos, que de acordo com Kuffel (2000) é o ponto ótimo para produção de ozônio.

Para o arranjo em placas paralelas, a depender da distância entre as placas e a potência fornecida pelo *flyback*, surgiam diversos arcos elétricos, onde na tentativa de controlá-los, foi observado que a incidência de corona se dava apenas nas pontas das placas, ou em pequenos pontos nas bordas, mostrando um sistema instável e ineficiente.

Em seguida foi avaliado o arranjo por cilindros coaxiais, onde o cilindro externo foi obtido a partir de tubos de cobre resgatado de bancas quebradas encontradas no depósito do IFBA e para a seção interna foi utilizado um dos oito fios trançados de um cabo UTP. Foi observado que nas bordas dos tubos, surgiam arcos elétricos atrapalhando a formação do ozônio, então, adicionou-se na parte interna de cada tampa um tubo plástico feito por tampas de caneta, envolvendo o fio sem tocá-lo, de forma que aumentasse a permissividade do meio e anulasse a formação de arcos. Esta foi a configuração onde se obteve o maior efeito corona, sem que se tivesse o surgimento de arcos elétricos.

### **Protótipo final**

Após os testes e correções necessárias, foi obtido o protótipo final pronto para os testes (Figura 7).



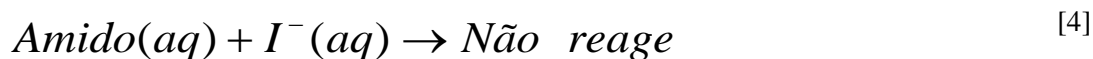
**Figura 7.** Protótipo pronto para testes. Fonte: Autoria própria.



### Avaliação do protótipo

Na etapa inicial de teste precisávamos provar que o reator realmente produzia ozônio de modo satisfatório e isso poderia ser comprovado de maneira simples e prática. Preparou-se uma solução de amido solúvel e iodeto de potássio. Na presença do ozônio o iodeto foi oxidado, transformando-se em iodo, percebeu a formação de iodo, pois este reage com o amido, modificando a coloração da solução para azul escura. Na Figura 8a mostra a solução de amido solúvel e iodeto de potássio (solução incolor). Na Figura 8b a solução com coloração azul escura devido à oxidação do iodeto comprovando a formação do ozônio no reator.

O amido é um polissacarídeo que pode ser dividido em duas estruturas, a amilose e a amilopectina. A primeira é a parte linear da cadeia polimérica e possui conformação helicoidal. Podemos entender melhor a dinâmica de oxidação do iodeto a partir das Equações 4 a 6.



Inicialmente o amido com o íon iodeto vemos que nenhuma reação ocorre (Equação 4) e a solução permanece incolor. Quando convertemos o íon iodeto em iodo, esse reage com outro íon iodeto, formando a molécula  $I_3^{-}$ , que forma um complexo com o amido cuja estrutura é helicoidal (tubular). O iodo se liga dentro dessa estrutura formando um complexo de coloração azul escura.



**Figura 8.** Solução de amido/iodeto: a) Solução não oxidada; b) Solução oxidada. Fonte: Autoria própria

As variáveis físicas e químicas da água bruta foram avaliadas conforme descrito na metodologia e são apresentadas na Tabela 1. Segundo Gomes et al. (2013) os valores de pH entre 7 e 8,3 são considerados ótimos para piscicultura. Os valores obtidos para a água bruta dos tanques foi de 4,67 fora da faixa considerada como ideal. Após 20 min de tratamento com o protótipo ozonizador o valor do pH passou para 7,21 dentro dos limites considerados ideais pela literatura especializada.

**Tabela 1.** Variáveis físicas e químicas da água bruta e tratada com ozônio.

Parâmetro	Água Bruta	Água tratada com ozônio
Temperatura (°C)	26,6	26,7
pH	4,67	7,21
Condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	1503	763
Oxigênio dissolvido (mg/L)	7,62	7,69
Salinidade (ppt)	0,70	0,36

Ainda segundo os autores, a condutividade elétrica indica a capacidade da água em conduzir corrente elétrica, esta variável fornece importantes informações sobre o metabolismo do tanque, ajudando a detectar fontes poluidoras no sistema, além de poder avaliar a disponibilidade de nutrientes nos ecossistemas aquáticos. Valores elevados de condutividade elétrica indicam grau de decomposição elevado é o que podemos constatar no valor obtido para água bruta após o tratamento este valor foi reduzido para 763  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Segundo Silva et al. (2017) a solubilidade do oxigênio na água depende da pressão atmosférica e da salinidade da água. Tal variável tem relação direta com a pressão atmosférica e relação inversa com a salinidade. Então a redução da salinidade em quase 50% no caso em estudo aumenta a disponibilidade de oxigênio dissolvido. De modo geral os resultados obtidos para o tratamento das águas de criação de tilápia com o protótipo de gerador foi satisfatório e sua aplicação no tratamento de tais efluentes configura apenas uma entre várias aplicações onde o gerador de ozônio pode ser utilizado.

## CONCLUSÃO

A partir dos testes realizados com o protótipo, comprovou-se a produção de ozônio, obtido a partir do efeito corona, sendo este gás utilizado no tratamento de água, demonstrando a viabilidade técnica no que tange a construção de um reator de ozônio sustentável utilizando-se de materiais reciclados e reutilizados, além de constatar a possibilidade de tratamento de efluentes por meio deste protótipo. Os materiais reaproveitados tiveram comportamento satisfatório durante os testes e o sistema fotovoltaico de alimentação supriu a demanda de energia elétrica necessária para o funcionamento do dispositivo.

Avaliou-se a produção de ozônio por parte do protótipo através da utilização do gás em uma reação com iodeto de potássio, comprovando-se a existência do gás que, atuando como oxidante do iodeto, fez com que a solução incolor tomasse cor azul escura devido à reação de oxidação do iodeto. Ressalta-se ainda a possibilidade de utilizar o reator em uma escala maior, servindo como alternativa de tratamento de efluentes em diversas aplicações.

## REFERÊNCIAS

- AGRA, J. U. M.; KLINK, J. M., RODRIGUES, G. G. Monitoramento da piscicultura em reservatórios: uma abordagem ecológica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, p. 1457-1472, 2012.
- CASTILHOS, S. **Emprego de ozonização para o tratamento de efluente têxtil**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/4938>>. Acesso em 03 abr. 2017.
- FERNANDES, A. K. S. **Reúso de água no processamento de jeans na indústria têxtil**. 2010. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/15974>>. Acesso em: 18 mar. 2017.
- FORNARI, A. M. D. **Geração de microbolhas de ozônio através de materiais porosos para aplicação em tratamento de efluentes**. 2011. 37 fls. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/37457/000822126.pdf>>. Acesso em: 03 abr. 2017.

GIUDICE, E. B. et al. Desenvolvimento de condutores compactos aplicados a projetos de linhas aéreas de transmissão. Disponível em: <<http://www.mfap.com.br/pesquisa/arquivos/20090424161104-Desenvolvimento%20de%20Condutores%20Compactos.pdf>>. Acesso em 15 abr. 2017.

GOMES, L. K. S., SOUZA, J. R. M., AMORIM, G. E. P., PEREIRA, F. Q., CAMPELLO, T. H. P., PESSOA, M. N. C., PACHECO, J. C., BRITO, A. M. S. S. Análise de alguns parâmetros físico-químicos da água em tanques para cultivo de tilápias e tambaquis. XIII Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão - JEPEX, Recife, 2013.

KUFFEL, J.; KUFFEL, P. **High voltage engineering fundamentals**. Newnes, 2000.

LOPES, M. S. Remoção do fármaco ácido mefenâmico em água via oxidação por cloro e por ozônio por cloro e por ozônio. 2016. 76 fls. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. Disponível em: <<http://repositorio.unesp.br/handle/11449/140206>>. Acesso em: 16 mar. 2017.

MAIDANA, W.; KREUTZ, C.; BERNARDI, R.; Análise de clarificação de efluentes industriais utilizando gerador eletrônico de ozônio. Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química – COBEQ, , p. 6940-6947, 2014.

SANSEVERINO, A. A. S. et al. **Metodologia de cálculo da tensão crítica de isolamento de linhas de transmissão de energia elétrica usando o método dos elementos finitos**. 2010. Disponível em: <<https://repositorio.ufjf.br/jspui/handle/ufjf/2714>>. Acesso em: 6 abr. 2017.

SANTOS, Í. P. et al. **Integração de painéis solares fotovoltaicos em edificações residenciais e sua contribuição em um alimentador de energia de zona urbana mista**. 2009. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/92927>>. Acesso em: 5 abr. 2017.

SCHIAVON, G. J.; ANDRADE, C. M., JORGE, L. M. M., PARAÍSO, P. Projeto e análise de um sistema gerador de ozônio para remoção de cor de efluente têxtil. **Revista Unisal**, v. 16, n. 28, 2013. Disponível em: <[www.revista.unisal.br/sj/index.php/123/article/download/297/223](http://www.revista.unisal.br/sj/index.php/123/article/download/297/223)>. Acesso em: 17 mar. 2017.

WEDY, Germano Ferreira. Inclusão do efeito corona em modelos de linhas de transmissão bifásica utilizando a técnica de variáveis de estado. 2009. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/87139>>. Acesso em: 16 mar. 2017.