

*Melhores Trabalhos*

# **ENGENHARIAS**

*Organizadores:*

**Antônio Wendell de Oliveira Rodrigues  
Exedito Wellington Chaves Costa  
Ícaro Dias Diógenes  
Maria do Socorro de Assis Braun  
Wilami Teixeira da Cruz**



**Ministério da Educação**  
**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE**  
**Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação**



**Congresso Internacional Virtual de Pesquisa,  
Pós-graduação e Inovação do IFCE**

***Melhores Trabalhos***

***Engenharias***

**Fortaleza, 2022**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
DO CEARÁ – IFCE**

**Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação – PRPI**

**Reitor**

Jose Wally Mendonça Menezes

**Pró-reitora de Ensino**

Cristiane Borges Braga

**Pró-reitor de Administração  
e Planejamento**

Reuber Saraiva de Santiago

**Pró-reitora de Extensão**

Ana Claudia Uchôa Araújo

**Pró-reitora de Pesquisa,  
Pós-graduação e Inovação**

Joélia Marques de Carvalho

**Pró-reitor de Gestão de Pessoas**

Marcel Ribeiro Mendonça

**FUNDAÇÃO DE APOIO AO ENSINO, A PESQUISA E A EXTENSÃO  
DO INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
DO CEARÁ - FAIFCE**

**Presidente**

Ernani Andrade Leite

**CONGRESSO INTERNACIONAL VIRTUAL DE PESQUISA E  
INOVAÇÃO DO IFCE - CONINP**

**Presidente**

Ícaro Dias Diógenes

**Membros**

Antônio Wendell de Oliveira Rodrigues

Expedito Wellington Chaves Costa

Maria do Socorro de Assis Braun

Maria Laênia Teixeira Alves

Maria Elizabeth Santos Soares

Renato Teixeira Moreira

Marco Henrique de Brito Mudo

Igor Moraes Paim

Wilami Teixeira da Cruz

**EXPEDIENTE**

**Organizadores**

Antônio Wendell de Oliveira Rodrigues

Expedito Wellington Chaves Costa

Ícaro Dias Diógenes

Maria do Socorro de Assis Braun

Wilami Teixeira da Cruz

**Capa**

Julio Pio Monteiro

© 2022 Aliás Editora

© 2022 Instituto Federal do Ceará

Edição Executiva

Anna K. Lima

Isabel Costa

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará**

---

Congresso Internacional Virtual de Pesquisa, Pós-graduação e Inovação do IFCE.  
Melhores Trabalhos: E-book 7 – Engenharias. / Organizador: Antônio Wendell de  
Oliveira Rodrigues. (et. al.) --. Fortaleza: IFCE, 2022.

122 p. il.

*E-book* no formato PDF 6.940 KB  
ISBN: 978-65-86800-36-4

1. Mecânica. 2. Materiais elétricos. 3. Química. I. Rodrigues, Antônio Wendell de  
Oliveira (Org.). II. Costa, Expedito Wellington Chaves Costa (Org.). III. Diógenes, Ícaro  
Dias (Org.). IV. Braun, Maria do Socorro de Assis (Org.). V. Cruz, Wilami Teixeira da  
(Org.). VI. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará. VII. Título.

---

**Bibliotecária responsável: Sara Maria Peres de Moraes CRB N° 3/901**

# SUMÁRIO

<b>SENSOR ÓPTICO PARA AFERIÇÃO DE MASSA UTILIZANDO FIBRA ÓPTICA</b>	<b>p. 6</b>
<b>PANORAMA DA REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA RESIDUAL TRATADA</b>	<b>p.19</b>
<b>POTENCIAL DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM ESCOLA RURAL NO MUNICÍPIO DE PORTEIRAS - CEARÁ</b>	<b>p.33</b>
<b>REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA RESIDUAL TRATADA EM MEIO URBANO: CONTRIBUIÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DE GUIA METODOLÓGICO DE APOIO À DECISÃO</b>	<b>p. 47</b>
<b>IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS PELAS DUPLICAÇÕES DE RODOVIAS: UM ESTUDO DE CASO NA DUPLICAÇÃO DO VIADUTO DA AVENIDA ALBERTO CRAVEIRO COM A BR 116</b>	<b>p. 58</b>
<b>DETECÇÃO DE BARULHO PARA AMBIENTES DE ESTUDO</b>	<b>p.74</b>
<b>CONVERSOR UNIDIRECIONAL MONOFÁSICO AC-DC-AC DE TRÊS BRAÇOS COM DOIS E TRÊS NÍVEIS</b>	<b>p. 86</b>
<b>AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES ELÉTRICAS E ÓPTICAS DA ELETRO CERÂMICA LANBO4 DOPADA COM ÍON TERRA RARA PRASEODÍMIO</b>	<b>p.100</b>
<b>APLICAÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA PREDIÇÃO DO NOVO COVID-19: ANÁLISE DE CONDIÇÕES PREEXISTENTES</b>	<b>p.108</b>





# SENSOR ÓPTICO PARA AFERIÇÃO DE MASSA UTILIZANDO FIBRA ÓPTICA

## OPTICAL SENSOR FOR MASS MEASURING USING OPTICAL FIBER

### **Waleska Feitoza de Oliveira**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil  
*waleskafeitoza.o@gmail.com*

### **Beatriz Silva Brasil**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil  
*beatrizbrasil87@gmail.com*

### **Auzuir Ripardo de Alexandria**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil  
*auzuir@ifce.edu.br*

### **Glendo de Freitas Guimarães**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil  
*glendo@ifce.edu.br*

---

### **RESUMO**

As balanças de pesagem encontradas no mercado usam tecnologia mecânica ou eletrônica para aferir massa, o que as deixam susceptíveis a interferências eletromagnéticas, variações bruscas de temperatura e vibrações. O objetivo deste trabalho é desenvolver um sensor óptico de para aferir massa utilizando tecnologia fibra óptica, a partir de testes realizados em laboratório que comprovem a sensibilidade da fibra óptica à deformação devido à presença de massa. Utilizando uma fonte de luz ,uma fibra óptica e um leitor de potência e, a partir, da a sensibilidade da fibra à tensão axial foi possível desenvolver um protótipo de sensor de massa. Os testes realizados em laboratório comprovaram a eficiência e a viabilidade do sensor baseado em fibra quando um sinal luminoso emitido por um laser se propaga no núcleo da fibra. Os resultados obtidos mostraram viabilidade da aplicação de fibras ópticas em sensores de massas.

**Palavras-chave:** Fibra óptica; aferição de massa; sensoriamento óptico.

### **ABSTRACT OR RESUMEN**

The weighing scales usually commercial using mechanical or electronic technology to measure mass, which makes them susceptible to electromagnetic interference, temperature variations and vibrations. The objective of this work is to develop an optical sensor to measure mass using optical fiber, from laboratory tests that prove the sensitivity of the optical fiber to deformation due to the presence of mass. Using a light source, an optical fiber and a power meter and, based on a fiber sensitivity to axial tension, it was possible to develop a mass sensor prototype. The laboratory tests proved the efficiency and viability of the fiber-based sensor when a light signal emitted by a laser propagates in the fiber core. The results obtained present the viability of applying optical fibers to mass sensors.

**Keywords:** Optical fiber; mass measuring; optical sensing.

## 1. INTRODUÇÃO

As balanças de pesagem são instrumentos utilizados para aferir a massa dos mais variados objetos. Cada balança possui diferentes fins e diferentes precisões. Dado o seu alto e vasto interesse, estes instrumentos foram e são continuamente usados e modificados desde que foram inventados pela primeira vez (VIEIRA et al., 2014).

Existem vários tipos de pesagem e escalas usando diferentes tecnologias mecânica e eletrônica. Além disso, para facilitar as leituras, o uso de dispositivos de conversão analógica para digital tem sido introduzido em balanças digitais, apresentando excelente desempenho, precisão, resolução e sensibilidade (LIN et al., 2017).

A grande desvantagem dos sistemas de pesagem convencionais é a interferência do meio externo nas aferições, em especial a presença de vibrações, gradientes térmicos e campos magnéticos e eletrostáticos (CHEN et al., 2017).

Diversos estudos realizados na área de sensoriamento óptico comprovam as inúmeras vantagens da aplicação de fibras ópticas em sensores (JAVANSHIR; POURZIAD; NIKMEHR, 2019). Atividades cujas aplicações exigem um alto grau de confiança e em locais cujas medições de massa possam ser severamente afetadas por erros de equipamento devido à operação extrínseca e interferências do meio externo (por exemplo, mecânicos, eletromagnéticos e térmicos), introduzem variações imprevisíveis e inaceitáveis nas leituras (JIANG et al., 2016).

Com o avanço da tecnologia óptica em sensores, esses sistemas são significativamente modificados e otimizados no que se refere à aferição de massa (CHEN et al., 2017), temperatura (LIU; PENG; CHU, 2001; JIANG et al., 2016), tensão (XINWEI et al., 2016), centro de massa (OLIVEIRA et al., 2015) e outras grandezas.

Portanto, existe a necessidade de uma tecnologia que incremente e potencialize os sistemas de pesagem já existentes. Para isso pode-se aplicar fibras ópticas em sensores com diversas vantagens comparada à tecnologia empregada atualmente. Sensores de fibras ópticas possuem insensibilidade a interferências eletromagnéticas, baixo peso, pequenas dimensões, respostas rápidas e capacidade de multiplexação de sinais (PINHEIRO, 2017).

Além de outros sensores de fibra, os sensores FBG têm muitas vantagens como alta resolução, insensibilidade a flutuações, multiplexação, detecção distribuída etc (VARGHESE et al., 2011).

Nas últimas décadas, observou-se o desenvolvimento e a intensificação na utilização de fibras ópticas em sensores devido a sua alta sensibilidade a grandezas físicas estáticas e dinâmicas, como massa (TOSI et al., 2010), temperatura (ZHENG;

BREMER; ROTH, 2018), pressão (LIU et al., 2018), deslocamento e tensão (XINWEI et al., 2016). Varghese et al. (2011) desenvolveram um protótipo de sensor de massa, no qual a fibra óptica, que atua como elemento sensor do sistema, é fixada, por meio de um epóxi, a uma célula de carga cantilever que é usada para carregar o sistema de pesagem. Vieira et al. (2014) desenvolveram três protótipos de sensor de massa utilizando grades de Bragg em fibra embutidas em uma bandeja de silicone (SILASTICT-4).

O objetivo deste trabalho é desenvolver um sensor óptico de para aferir massa utilizando tecnologia fibra óptica. A proposta consiste na confecção de um protótipo baseado em tecnologia óptica a partir de testes realizados em laboratório que comprovem a sensibilidade de fibras ópticas à deformação mecânica.

## 2. METODOLOGIA

O estudo e desenvolvimento do protótipo de sensor de massa utilizando fibra óptica pode ser dividido em duas partes:

- Montagem do protótipo
- Teste e calibração do protótipo

### 2.1. Materiais utilizados

Esta subseção trata dos materiais utilizados no desenvolvimento do protótipo apresentado neste trabalho. Para isto, são definidos todos os materiais, bem como sua função dentro do sistema.

#### 2.1.1. Fibra óptica

Fibra óptica é um filamento, de vidro ou plástico, muito fino capaz de transmitir luz (AGRAWAL, 2002).

Para construir o sensor óptico de que se trata este trabalho, foi aplicada uma fibra óptica multimodo (muitos modos ou muitos feixes de luz) de sílica, nas faixas do visível e infravermelho, com faixa de comprimento de onda entre 600 nm e 1000 nm (THORLABS, 2011).



### 2.1.2 Isolador óptico

O isolador óptico é um elemento óptico que restringe a direção de propagação da luz em um único sentido. Sua função é proteger a fonte de luz impedindo que a luz volte para a fonte (E-FÍSICA, 2007).

Neste trabalho foi empregado um isolador de fibra de baixa potência de comprimento de onda igual a 1310 nm (THORLABS, 2008) e conector FC/PC.

### 2.1.3 Laser

Laser ( Amplificação da Luz por Emissão Estimulada de Radiação) é um dispositivo que produz radiação eletromagnética em regiões visíveis, infravermelha ou ultravioleta (BOYLESTAD; NASHELSKY, 2013).

O laser foi utilizado para excitar a fibra de sílica (600 - 1000 nm). Um Butterfly Laser Diode ou Diodo Laser Butterfly (THORLABS, 2004) com comprimento de onda central de 785 nm e espectro de comprimento de onda entre 775 e 795 nm, também fabricado pela Thorlabs. O diodo laser Butterfly possui refrigeradores elétricos térmicos integrados (TECs) e sensores do termistor, tornando possível o controle da temperatura e da corrente elétrica e a estabilidade do comprimento de onda para a temperatura ajustada.

### 2.1.4 Power meter

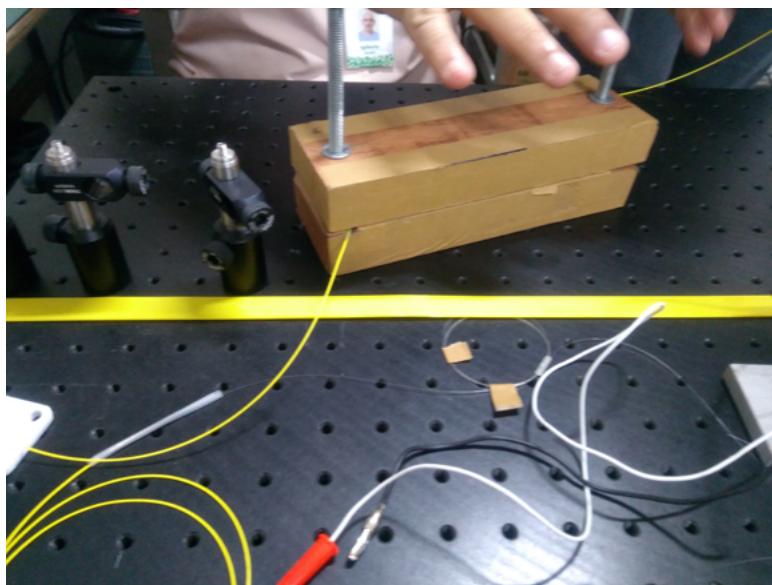
O Power Meter é um medidor de sinal óptico utilizado para captar e exibir a potência do sinal de saída de uma fibra óptica que é excitada por uma fonte de luz (PISTOIA, 2009).

Para calcular a potência de saída da fibra quando a mesma é sujeita a uma deformação devido ao peso utilizou-se um Power Meter medidor de potência óptica e energia fabricado pela Thorlabs (THORLABS, 2009).

## 2.2 Montagem do protótipo

Para compor o sensor foram fabricadas duas barras retangulares de madeira de 5 cm de espessura, nas extremidades das barras encontram-se furos, pelos quais as barras são fixadas uma na outra por meio de parafusos e porcas, conforme ilustra a Figura 1.

**Figura 1** — Plataforma de madeira utilizada no protótipo.

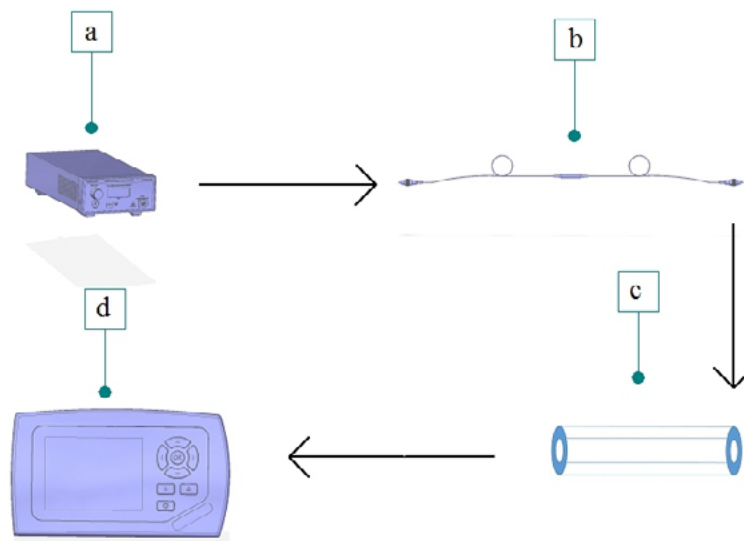


**Fonte:** Elaborado pelos autores.

O protótipo consiste em um sensor óptico para aferição massa utilizando fibra óptica multimodo que opera na faixa entre 600 e 1000 nm. Entre as duas barras é inserida a fibra óptica, que é tensionada na presença de massa, de modo que a tensão axial altera a transmissão da luz na fibra.

Nas duas extremidades da fibra são acoplados conectores do tipo FC/PC que permitem a conexão da fibra com o isolador óptico, dispositivo óptico cuja finalidade é impedir que a luz retorne para o laser, e com o Power Meter, medidor de sinal óptico utilizado para captar e exibir a potência óptica do sinal, ambos com conexão FC/PC. O isolador óptico é conectado na saída do Diodo Laser Butterfly. Tais conexões são representadas de forma esquemática na Figura 2.

**Figura 2** — Representação da montagem do protótipo.  
a) Laser; b) Isolador óptico; c) Fibra Óptica; d) Power Meter



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

## 2.3 Testes efetuados no protótipo

Para avaliar a responsividade da fibra à deformação, selecionou-se 6 blocos de aço. Os blocos foram pesados em uma balança eletrônica de precisão 15kg Edutec (EDUTEC, 2017) comercializada pela astral científica. A medição de peso, realizada em laboratório, apresentou valores de: 0,7150 kg; 2,055 kg; 2,770 kg; 2,950 kg; 3,665 kg e 5,005 kg para cada um dos blocos.

O teste realizado no protótipo consiste em: posicionar cada um dos seis blocos sobre a plataforma de madeira em ordem crescente de massa.

O Diodo Laser Butterfly acoplado à fibra emite um sinal na faixa de luz visível com comprimento de onda central em 785 nm e faixa de comprimento de onda entre 775 e 795.

A fibra multimodo com faixa de 600 nm a 1000 nm recebe e transmite esse sinal com uma potência que equivale a diferença entre a potência do laser e as perdas de potência durante a transmissão.

A presença da massa na plataforma implica na ação da força Peso na fibra que, conseqüentemente, é tracionada. A deformação axial sofrida pela fibra altera o diâmetro do seu núcleo, assim ocorre uma mudança no caminho percorrido pela luz que resulta na mudança da potência do sinal que sai da fibra e chega ao Power Meter.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisou-se a potência do sinal transmitido pela fibra óptica de sílica com faixa de comprimento de onda entre 600 nm e 1000 nm durante a inserção e retirada de massa a fim de assegurar a repetibilidade. A observação mostra uma resposta praticamente linear e com poucos desvios para massas de 0 a 5,005 kg.

Na Tabela 1 estão relacionadas as massas dos blocos com as potências transmitidas pela fibra óptica multimodo durante o sensoriamento de cada bloco e utilizando Diodo Laser Butterfly de 785 nm como fonte de luz, de modo que os valores de Potência 1 referem-se aos valores de potência obtidos na primeira aferição, os valores de Potência 2 referem-se aos valores de potência obtidos na segunda aferição e assim, sucessivamente, até a última aferição.

Observa-se valores semelhantes para potência luminosa de saída para cada medição realizada com a mesma massa. O desvio padrão dos valores das potências aferidas é de 0,06914.

**Tabela 1** — Potência do sinal na saída da fibra para cada aferição realizada.

<b>Massa (kg)</b>	<b>Potência 1 (mW)</b>	<b>Potência 2 (mW) Potência 4 (mW)</b>	<b>Potência 3 (mW)</b>
0,000	0,5080	0,5100	0,5200
0,715	0,5070	0,5080	0,5119
2,055	0,5061	0,5050	0,5142
2,770	0,5051	0,5030	0,5098
2,905	0,5050	0,5030	0,5088
3,665	0,5020	0,5020	0,5052
5,005	0,5014	0,5000	0,5030

**Fonte:** Elaborado pelos autores.

As sucessivas aferições são realizadas a fim de garantir a repetibilidade nas aquisições pelo sensor. Aplicando sempre a mesma metodologia, analisou-se o comportamento e os valores de potência obtidos pelo protótipo durante a inserção e retirada de massa, que varia entre 0 e 5,005 kg, a fim de comprovar a repetibilidade dos valores de potência obtidos. As quatro aferições apresentaram valores semelhantes para a potência na fibra.

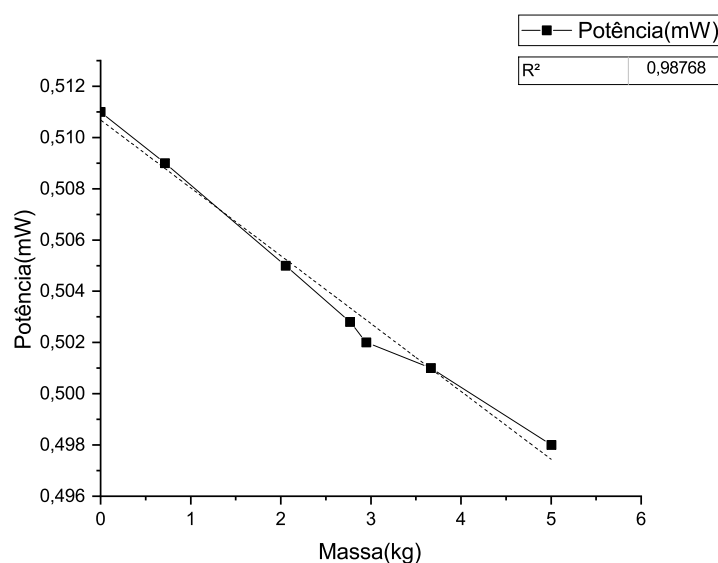
Os resultados obtidos após a primeira, a segunda, a terceira e a quarta aferição realizada no protótipo estão representados nos gráficos das Figura 3, Figura 4, Figura 5 e Figura 6, respectivamente.

Segundo Yan, Li e Su (2018) o sensor óptico fornece uma abordagem fácil, rápida e de baixo custo para a detecção sensível de grandezas como massa, deformação e temperatura com base nas variações que ocorrem no sinal. O protótipo demonstrou excelente sensibilidade na detecção de massa.

Vieira et al. (2014) apresentaram um protótipo de sensor óptico de massa com precisão para massas de até 500 g, já o protótipo apresentado nesse trabalho apresentou precisão para massas de até 5,005 kg. Isso provou a eficiência de sensores ópticos para massas de valores maiores. Além disso, o protótipo proposto nesse trabalho apresenta boa repetibilidade nas aferições de massa.

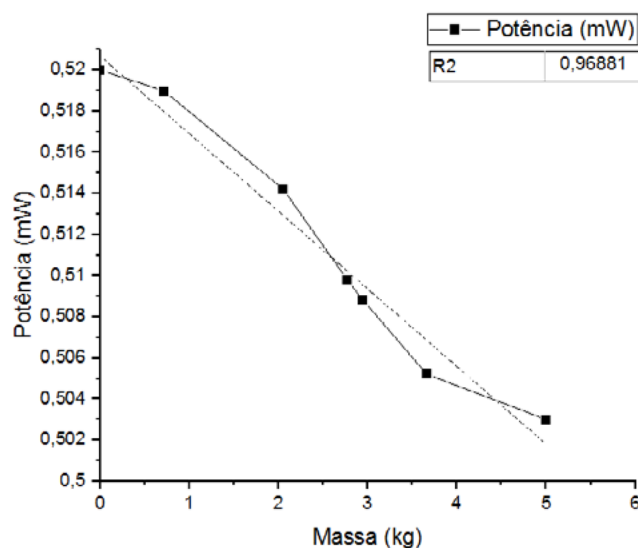
Os gráficos das Figura 3, Figura 4, Figura 5 e Figura 6 comprovam a confiabilidade do protótipo como sensor de massa, pois além de apresentarem valores semelhantes de potência, possuem excelentes coeficientes de determinação:  $R^2 = 0,91392$ ;  $R^2 = 0,97603$ ,  $R^2 = 0,98768$  e  $R^2 = 0,96881$ . O que implica na observação de respostas praticamente lineares para curva exponencial com taxas entre 91,392% e 98,768%, considerando que um coeficiente de determinação igual 1 implicaria uma resposta totalmente linear. Para a estatística, o coeficiente de determinação indica quanto da variação total é comum aos elementos que constituem os pares analisados (PINHEIRO et al., 2009).

**Figura 3** — Potência do sinal em função da massa mensurada no protótipo durante a primeira aferição.



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

**Figura 4** — Potência do sinal em função da massa mensurada no protótipo durante a segunda aferição.



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

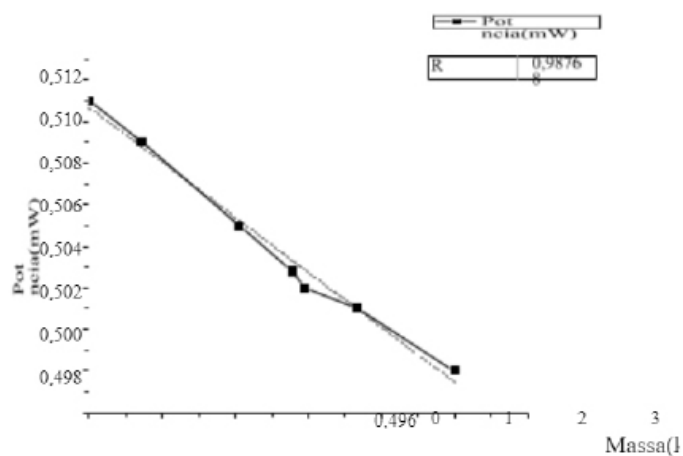
Comparando os resultados obtidos com outros na literatura, verifica-se satisfação nas aferições realizadas em laboratório. A precisão nos resultados, baixo desvio padrão entre os valores de potência e repetibilidade nas medidas comprovam a viabilidade desse sistema de pesagem.

## 4. CONCLUSÕES

Este artigo relata os resultados do desenvolvimento e calibração de um protótipo, confeccionado em laboratório, para medição de massa utilizando fibra óptica como elemento sensor. O sensor apresentou resposta linear quando exposto a variações de massa entre 0 e 6 Kg. Nesta faixa, foi observada uma boa adesão da fibra à plataforma de madeira.

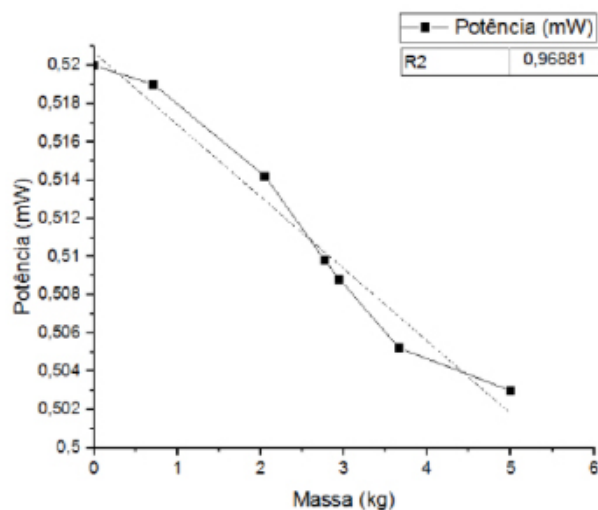


**Figura 5** — Potência do sinal em função da massa mensurada no protótipo durante a terceira aferição.



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

**Figura 6** — Potência do sinal em função da massa mensurada no protótipo durante a quarta aferição.



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

Considerando o objetivo geral deste trabalho, que é desenvolver um sensor óptico para aferição de massa utilizando fibra óptica, a partir de um estudo analítico das fibras de sílica, atingiram-se resultados satisfatórios para o sensoriamento de massa por meio de fibra óptica.

Para trabalhos futuros sugere-se um estudo analítico sobre influência da massa em uma grade de Bragg em fibra (FBG). Os resultados devem ser comparados com os obtidos neste trabalho, que utiliza fibra de sílica. O objetivo é tornar possível o desenvolvimento de um sensor óptico para aferição de massa de alta precisão aplicando tecnologia grade de Bragg.

## REFERÊNCIAS

AUSUBEL, David P. J, D. Novak; H. Hanesian, **Psicologia Educacional**. 1980.

AGRAWAL, G. P. **Fiber-optic communication systems**. 3. ed. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2002. v. 1.

BOYLESTAD, R. L.; NASHELSKY, L. **Dispositivos Eletrônicos E Teoria De Circuitos**. 11. ed. [S.l.]: Pearson, 2013. v. 1.

CHEN, H.-J. et al. Coherent optical propagation and ultrahigh resolution mass sensor based on photonic molecules optomechanics. **Optics Communications**, v. 382, p. 73 – 79, 2017.

E-FÍSICA. **Isoladores ópticos**. 2007. Disponível em: <[http://efisica.if.usp.br/optica/universitario/polarizacao/isolador\\_otico/](http://efisica.if.usp.br/optica/universitario/polarizacao/isolador_otico/)>. Acesso em: 07 dez. 2018.

EDUTEC. **Balança Eletrônica de Precisão Edutec**. 2017. Disponível em: [http://edutec.astralcientifica.com.br/?s=balanC3A7a+eletC3B4nica+15+kg&post\\_type=produtos](http://edutec.astralcientifica.com.br/?s=balanC3A7a+eletC3B4nica+15+kg&post_type=produtos). Acesso em: 09 dez. 2018.

JAVANSHIR, S.; POURZIAD, A.; NIKMEHR, S. Optical temperature sensor with micro ring resonator and graphene to reach high sensitivity. **Optik**, v. 180, p. 442 – 446, 2019. ISSN 0030-4026. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0030402618318801>>.

JIANG, J. et al. Development of optical fiber temperature sensor for aviation industry. **International Conference on Optical Communications and Networks (ICOON), 2016**. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7875863>>.

LIN, H. et al. Weighing method for truck scale based on neural network with weight-smoothing constraint. **Measurement**, v. 106, p. 128 – 136, 2017. ISSN 0263-2241. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224117301331>>.

LIU, H. lin et al. Experimental study on an fbg strain sensor. **Optical Fiber Technology**, v. 40, p. 144 – 151, 2018. ISSN 1068-5200. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1068520016302814>.

LIU, H. Y.; PENG, G. D.; CHU, P. L. Thermal tuning of polymer optical fiber bragg gratings. **IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS**, v. 13, p. 824 – 826, 2001.

OLIVEIRA, R. et al. Centre of mass determination based on an optical weighing machine using fiber bragg gratings. **Proceedings of the SPIE**, v. 9634, 2015.

PINHEIRO, J. I. D. et al. Capítulo 2 - estudando a relação entre duas variáveis. In: PINHEIRO, J. I. D. et al. (Ed.). **Estatística Básica**. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda., 2009. p. 42 – 69. ISBN 978-85-352-3030-7. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9788535230307500024>.

PINHEIRO, J. M. S. Capítulo 2 - a fibra Óptica. In: PINHEIRO, J. M. S. (Ed.). **Redes Ópticas de Acesso em Telecomunicações**. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda., 2017. p. 17 – 58. ISBN 978-85-352-8612-0. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9788535286120500090>.

PISTOIA, G. Chapter 4 - industrial applications (except road vehicles). In: PISTOIA, G. (Ed.). **Battery Operated Devices and Systems**. Amsterdam: Elsevier, 2009. p. 163 –

# PANORAMA DA REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA RESIDUAL TRATADA

## PANORAMA OF TREATED WASTEWATER REUSE

**Edilson Holanda Costa Filho**

ULisboa, Portugal

*edilsonholanda@gmail.com*

**José Manuel de Saldanha Gonçalves Matos**

Docente da ULisboa, Portugal

---

### RESUMO

Uma prática que tem se destacado, mas cujo potencial pode ser melhor explorado, é a reutilização de efluente tratado. Existem vários obstáculos, destacando-se a rejeição pública, os custos, o estabelecimento de preço competitivo e a ausência de legislação. A Europa está desenvolvendo uma regulamentação, mas somente para fins de agricultura, deixando outras finalidades descobertas no que tange aos padrões de segurança. Outro ponto a ser considerado é o monitoramento, devendo-se estabelecer a periodicidade, tanto da qualidade como do meio onde o efluente está sendo reutilizado. Para o fortalecimento dessa prática, portanto, faz-se necessário um gerenciamento integrado do setor da água, um fortalecimento da cooperação entre os interessados, o estabelecimento de instrumentos econômicos financiadores dos projetos, a construção de confiança e credibilidade e o estabelecimento de critérios claros sobre quando reutilizar e quais os padrões de qualidade que se deve seguir.

**Palavras-chave:** Água residual. Reuso. Obstáculos.

### ABSTRACT OR RESUMEN

A practice that has stood out, but whose potential can be better exploited, is the reuse of treated effluent. There are several obstacles, including public rejection, costs, competitive pricing and the absence of legislation. Europe is developing regulations, but only for agricultural purposes, leaving other purposes uncovered with regard to safety standards. Another point to be considered is monitoring, and the periodicity must be established, both for quality and the environment where the effluent is being reused. Therefore, to strengthen this practice, it is necessary to have an integrated management of the water sector, a strengthening of cooperation between stakeholders, the establishment of economic instruments that finance the projects, the building of trust and credibility and the establishment of clear criteria on when to reuse and what quality standards to follow.

**Keywords:** Wastewater. Reuse. Obstacles.

## 1. INTRODUÇÃO

Água é um recurso natural precioso e vital para a manutenção da vida no planeta Terra, levando o homem a procurar, desde os primórdios da civilização, formas de capturar, armazenar, limpar e distribuir água como uma forma de reduzir a sua vulnerabilidade ao fluxo lacustre irregular e a imprevisibilidade da chuva (RICART, 2019).

Todavia, o mesmo homem que necessita de água para a sua sobrevivência tem alterado o clima do planeta de tal forma que o acesso a esse recurso tem se tornado escasso em algumas regiões. Segundo JIMÉNEZ CISNEROS et al. (2014), as projeções das alterações climáticas mostram uma redução das fontes de recursos hídricos, tanto superficial quanto subterrânea, especialmente nas regiões subtropicais, com, aproximadamente, 7% da população mundial exposta a 20% menos fontes de água.

A reutilização de efluente tratado, portanto, ganha destaque no sentido de economizar água potável e reduzir o impacto ambiental pelo descarte de água residual em recursos hídricos superficiais (ALBERICH et al., 2018; NARR et al., 2019).

Há, entretanto, barreiras que impedem uma efetiva implementação do reuso de águas residuais. Assim, considerando que a água é vital para a maioria dos seres vivos e é essencial para grande parte das atividades econômicas, o presente artigo pretende apresentar uma discussão sobre as perspectivas da reutilização de água residual tratada.

## 2. METODOLOGIA

Realizou-se um levantamento bibliográfico utilizando a plataforma eletrônica “Web of Science”, buscando por palavras-chave tais como: “wastewater reuse”, “wastewater treatment”, “guidelines or laws for wastewater reuse”, etc. Após essa primeira pesquisa, buscou-se pelas referências citadas nas bibliografias analisadas.

## 3. O REÚSO DE ÁGUA E SUAS POSSIBILIDADES

Diante das previsões de redução da disponibilidade hídrica, uma alternativa que tem se destacado ultimamente, mas cujo potencial ainda pode ser melhor explorado, é a reutilização de água residual tratada, uma fonte que não depende da incerteza climática e contribui para a transição para uma economia mais circular, trazendo benefícios nas vertentes econômica, ambiental e social, reservando o aproveitamento da água potável para usos exclusivamente de consumo humano,



além do reaproveitamento de nutrientes presentes no efluente tratado, para uma maior produtividade agrícola.

Várias são as possibilidades de reutilização de água residual tratada, destacando-se a agricultura, a indústria, a aquicultura e usos urbanos (rega de áreas verdes, lavagem de ruas, lagos artificiais, etc), além da recarga de aquífero e o uso direto como água potável, onde a água residual purificada é adicionada diretamente ao sistema de abastecimento de água potável ou à fonte de água bruta que abastece esse sistema, mas essa situação é rara, sendo mais comum os usos não potáveis. Para cada um desses usos, entretanto, a água precisa possuir uma qualidade específica, de forma a garantir a segurança ambiental e de saúde pública, obtida através das várias tecnologias já disponíveis no mercado (BIXIO et al., 2006; DUONG e SAPHORES, 2015; HIDALGO et al., 2007; MENESES et al., 2010).

Na América do Norte, os Estados Unidos se destacam com a prática de reuso em alguns estados. Na Flórida, 54% do esgoto tratado é usado na agricultura e 40 milhões de m<sup>3</sup>/ano é usado para irrigação de campos de golfe e outras áreas verdes. No Texas, o efluente resultante de tratamento secundário e terciário é reutilizado para irrigação de campos de golfe e parques municipais e escolares. A Califórnia possui várias experiências com reuso, como por exemplo em El Dorado Hills, onde 58.000 m<sup>3</sup>/dia de água residual tratada é reusada em jardinagem e campos de golfe e em Monterey, onde 1.500 m<sup>3</sup>/dia é reutilizada para irrigação de vegetais (DUONG e SAPHORES, 2015). Apesar desses percentuais, em termos nacionais os Estados Unidos só reutilizam 4,6% do esgoto tratado no país (GONDHALEKAR et al., 2019).

No continente americano, o percentual de reuso ainda é pequeno, com o México possuindo a maior percentagem com 11,1% e o Brasil com 0,1% de reutilização do efluente tratado (GONDHALEKAR et al., 2019). Na América Latina, mais de 500.000 há de terra agricultável é irrigada com esgoto bruto (DUONG e SAPHORES, 2015).

De acordo com DUONG E SAPHORES (2015), o continente europeu reutiliza somente 2,4% de água residual tratada, com destaque para Chipre e Malta cujos índices de reutilização são de 91,7% e 60%, respectivamente. Praticamente 3/4 dessa fonte alternativa de água é utilizada na agricultura, sendo os outros usos distribuídos entre aplicação ambiental, recarga de aquífero, usos industriais e urbanos. Segundo BIXIO et al. (2006), nas regiões do sul da Europa, 44% dos projetos de reuso são para agricultura e 37% para aplicações urbanas e ambientais, enquanto no norte do continente 51% das aplicações de reuso são urbanas e ambientais e 33% para usos industriais.

Nos continentes asiático e africano, há um significativo uso (mais de 50%) de água residual não tratada na agricultura. Na China, somente 8% do total de esgoto tratado é reutilizado. Apesar desses exemplos negativos, a Namíbia, com 2/3 da população sem acesso a esgotamento sanitário, possui uma planta que produz água potável a partir do tratamento de efluente, o que representou, em 2002, mais de 1/3 da necessidade de água da cidade onde a estrutura funciona (DUONG e SAPHORES, 2015). A África do Sul e a Namíbia se destacam no continente africano com 45,5% e 29,7% de reutilização de águas residual tratada, respectivamente, enquanto na Ásia o destaque vai para Singapura, com 38% de reuso de efluente tratado (GONDHALEKAR et al., 2019).

No Oriente Médio, o reuso de água residual tratada é majoritariamente feito na agricultura, mas há ainda locais onde o esgoto bruto é utilizado, como no Egito, Iran, Líbano, Palestina, Síria e Iêmen. Nesse território, Israel destaca-se reutilizando 93,8% da água residual tratada no país (GONDHALEKAR et al., 2019), posição essa devida não somente a um aparato legislativo existente a várias décadas, mas também devido as suas instituições e políticas que inspiram confiança nos usuários de água residual tratada. Além da escassez hídrica, o fornecimento de apoio técnico pelo governo e um preço 20% menor do que a água bruta, são fatores que facilitam a aceitação pública do reuso em Israel (GONDHALEKAR et al., 2019).

Na Oceania, o destaque vai para a Austrália, com uma percentagem de coleta de esgoto de 87,3%, dos quais 95,5% é tratado e desses, 20,1% é reutilizado. Em termos mundiais, segundo GONDHALEKAR et al., (2019), 11,6% da água residual tratada é reutilizada para alguma finalidade, mas com diferenças entre países em um mesmo continente. A Europa, por exemplo, possui um índice de coleta e tratamento de esgoto em torno de 93%, mas o reuso em Chipre é em torno de 92% enquanto na França, na Espanha e em Portugal os percentuais são de 10%, 16% e 0,5%, respectivamente. Ser um país industrializado ou com renda elevada, não significa possuir altas taxas de reuso. A escassez hídrica, entretanto, pode ser um indicador, considerando os altos índices de reuso nos países do Oriente Médio, mas nem sempre, uma vez que a Itália e a Espanha reutilizam 1,2% e 16% de suas águas residuais tratadas, respectivamente (GONDHALEKAR et al., 2019). O Quadro 1, a seguir, apresenta os percentuais de reuso de alguns países.

**Quadro 1** — Percentual de reuso de água residual tratada no mundo, segundo GONDHALEKAR et al., 2019

<b>Continentes</b>	<b>PAÍS</b>	<b>PERCENTUAL DE REUSO (%)</b>
<b>América</b>	Estados Unidos da América	4,6
	México	11,1
	Brasil	0,1
<b>Europa</b>	Chipre	91,7
	Malta	60,0
	França	10,0
	Espanha	16,0
	Itália	1,2
	Portugal	0,5
<b>Ásia</b>	China	8,0
	Japão	1,2
	Coreia do Sul	2,0
	Singapura	38
<b>África</b>	África do Sul	45,5
	Namíbia	29,7
	Marrocos	10,0
<b>Oriente Médio</b>	Israel	93,8
	Arábia Saudita	64,9
	Líbano	0,7
	Kuwait	26,7
<b>Oceania</b>	Austrália	20,1
<b>Global</b>		11,6

Vários são os exemplos de sucesso do uso de água residual tratada em todo o mundo (DUONG e SAPHORES, 2015; LAZAROVA et al., 2013), mas também há vários casos onde os projetos não prosperaram. No Estado da Califórnia, Estados Unidos da América, por exemplo, um projeto de reuso para fins potáveis não foi bem-sucedido na década de 90 devido, principalmente, a uma forte oposição da opinião pública. Tal situação, segundo DUONG e SAPHORES (2015), pode ser explicada pelo fato de as preocupações públicas não terem sido adequadamente consideradas, ao aparente favorecimento de uma área restrita e à opiniões conflitantes de especialistas.

Já existe no mercado tecnologia disponível para tratar o efluente de acordo com a finalidade do uso, superando essa barreira inicial que tornaria inviável o reuso de água residual. Seria de esperar, portanto, que a utilização de água recuperada já estivesse sendo melhor explorada, mas o que observa-se é uma variação regional no percentual de uso dessa fonte alternativa de água, o que pode ser explicado, muitas vezes, pelas barreiras que atrapalham a exploração do potencial máximo dessa que pode ser a salvaguarda de muitos países (MOHAMMAD, 2018). Os números atualmente relacionados com o reuso indicam que as variáveis determinantes para a reutilização de água residual tratada são complexas e podem envolver fatores climáticos, institucionais, culturais e outras diferenças (GONDHALEKAR et al., 2019).

No capítulo seguinte, aborda-se os principais obstáculos enfrentados pelo reuso de água residual tratada, destacando-se que as ferramentas, estratégias e políticas de governança são tão ou mais importantes do que as soluções tecnológicas para atender às demandas por água e suas fontes alternativas (RICART, 2019).

#### **4. DESAFIOS PARA REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS TRATADAS**

Um dos principais obstáculos para o reuso de efluente tratado é a rejeição pública, nomeadamente por conta do receio de efeitos deletérios à saúde humana, causada principalmente pela desinformação (DUONG e SAPHORES, 2015). O que muitas pessoas não sabem é que já reutilizam água residual, tratada ou não, de forma indireta, pois os esgotos são sempre lançados no solo, no mar ou em recursos hídricos superficiais que servem de fonte de abastecimento de água potável.

É claro que essa realidade não justifica o reuso de forma irresponsável e para minimizar os riscos microbiológicos envolvidos, já existem tecnologias disponíveis além da adoção de barreiras físicas como a restrição de acesso à áreas onde água de baixa qualidade é usada e o processamento de produtos irrigados com água residual (DUONG e SAPHORES, 2015). A isso acrescenta-se a separação efetiva da coleta entre esgoto doméstico e esgoto industrial, devendo-se reutilizar apenas o esgoto doméstico tratado.

RICART (2019) pontua ainda que é importante uma melhor comunicação da comunidade científica com a população e com os interessados e a participação desses nos projetos de reuso. A educação pública, que informe sobre a escassez hídrica e a segurança da água residual tratada, e o marketing feito por agências de água, com apoio de especialistas reconhecidos, não associando a água recuperada ao esgoto, também é uma estratégia para vencer essa barreira, segundo DUONG e SAPHORES (2015).

Outro obstáculo para a reciclagem de água residual são os custos envolvidos, nomeadamente no que diz respeito às infraestruturas necessárias e, por conseguinte, estabelecer um preço competitivo com a fonte natural, tornando-a atrativa para os potenciais usuários. Vários estudos verificaram a vontade de pagar pela água residual tratada, mostrando que essa variável depende da intenção do uso, das alternativas disponíveis e da existência de crise. Água residual recuperada pode então ser precificada com base numa avaliação comparativa baseada na vontade de pagar dos usuários. Incentivos também podem ser considerados, a curto prazo, para seduzir potenciais usuários a superarem suas apreensões (DUONG e SAPHORES, 2015).

No que tange à legislação, nomeadamente ao estabelecimento dos padrões de qualidade para utilização de água recuperada para um determinado fim, a sua ausência dificulta a aprovação dos projetos por parte do órgão ambiental licenciador, que precisa confirmar se o tratamento pelo qual o efluente passará produzirá uma água dentro dos padrões recomendados pela legislação vigente, para a finalidade proposta.

Nesse aspecto, realizou-se uma pesquisa bibliográfica para verificar a situação da legislação ambiental em torno da temática do reuso de água residual. Observou-se, por conseguinte, que a estrutura legal e institucional acerca da reutilização de efluente tratado ainda é fraca ou inexistente em alguns países. Alguns fazem referência a padrões internacionais, os quais são muito gerais ou que demandam soluções de elevado custo (HIDALGO et al., 2007).

Nos Estados Unidos da América, por exemplo, não há padrão federal disciplinando o reuso de água e sim regulamentações estaduais. Em 2004, a Agência Ambiental Americana (EPA) atualizou um documento publicado em 1992, e publicou o documento "Guidelines for Water Reuse", que apresenta as diretrizes para o reuso de água e examina as oportunidades de uso de efluentes tratados (CAIXETA, 2010).

Na Europa ainda não há padrão estabelecido em nível de União Europeia, mas sabe-se que existe uma proposta nesses termos sendo analisada, conforme informa ALBERICH et al. (2018). Enquanto isso, alguns países europeus possuem legislação própria, como a Espanha que através do Real Decreto 1620/2007, regula os níveis de qualidade, os usos possíveis e o monitoramento da água reciclada (ALBERICH et

al., 2018). A ausência de regulação e de entendimento público tem comprometido o desempenho da Europa no campo do reuso de água residual tratada, onde atualmente 1,7 bilhões de m<sup>3</sup>/ano de efluente tratado é reutilizado, mas esse número poderia ser 6,6 bilhões m<sup>3</sup>/ano, a um custo de 0,5 euros/m<sup>3</sup> (DUONG e SAPHORES, 2015).

Israel, por sua vez, conforme comentando na sessão anterior, destaca-se com um elevado percentual de reutilização de água residual tratada devido, principalmente, a presença de instituições e políticas que inspiram confiança aos usuários e a existência de uma forte legislação (GONDHALEKAR et al., 2019).

Independente do país, o que a legislação precisa definir são limites máximos de concentração de cada parâmetro presente na água recuperada, de forma a não causar problemas de saúde e impacto ambiental negativo quando da sua reutilização para os mais variados fins. Dentre esses parâmetros, de acordo com vários autores (GONDHALEKAR et al., 2019; HIDALGO et al., 2007; MENESES et al., 2010) pode-se citar como os mais relevantes a carência bioquímica de oxigênio (CBO5), a carência química de oxigênio (CQO), os sólidos suspensos totais (SST), os sólidos dissolvidos totais (SDT), a turbidez, a concentração de nutrientes (nitrogênio e fósforo), os organismos patogênicos (coliformes fecais, especialmente), o residual de cloro, o oxigênio dissolvido, os ovos de geohelmintos, a condutividade elétrica, a razão de adsorção de sódio e o potencial hidrogeniônico (pH). Além desses, em algumas situações pode ser necessário verificar a presença de vírus, organismos traços e metais pesados (ALBERICH et al., 2018).

No regulamento que está sendo proposto pela União Europeia, apenas a irrigação na agricultura está sendo considerada, com a proposição de quatro classes de água residual, de acordo com a cultura a ser irrigada, sendo a classe A mais restritiva, podendo ser utilizada para todas as culturas alimentícias, incluindo os alimentos consumidos crus ou cuja parte comestível entre em contato direto com a água residual tratada, e a classe D a menos restritiva, usada para o cultivo de culturas com fins industriais e de produção de energia. O tipo de tratamento e a periodicidade do monitoramento também varia entre as classes, sendo a classe A que necessita de um maior nível de tratamento e um monitoramento mais rigoroso.

Na análise das legislações existentes, observou-se diferenças entre as normas no que se refere aos parâmetros escolhidos e os seus respectivos limites máximos permitidos. Isso porque, a depender da finalidade do reuso, o padrão deve ser mais ou menos restritivo, além das características locais exercerem forte influência na definição dos limites. O reuso na agricultura, por exemplo, depende das características do solo e da cultura a ser irrigada (MENESES et al., 2010).



Como não há uma legislação comum para o reuso de água no mundo, é frequente o uso das diretrizes da Organização Mundial de Saúde (OMS) por aqueles que não possuem uma legislação específica (HIDALGO et al., 2007). As diretrizes da OMS tem o objetivo de proteger a saúde pública e facilitar o uso racional de água residual tratada na agricultura e aquacultura (Carr, 2005). Alguns países como Israel, África do Sul, Japão e Austrália, entretanto, consideram as diretrizes da OMS muito brandas para proteger a saúde humana (CAIXETA, 2010).

Dada as particularidades de cada local, é difícil o estabelecimento de um padrão universal. Até mesmo as diretrizes da OMS devem ser adaptadas aos fatores sociais, econômicos e ambientais locais (CARR, 2005). É preciso, portanto, que cada região, com base nas suas características, estabeleça os seus padrões, ação essa reconhecida como um dos incentivos ao aumento dos projetos de reuso como também influenciadora da opinião pública em termos de confiança e aceitação da política de reciclagem de água (ALBERICH et al., 2018).

No desenvolvimento desses padrões, deve-se levar em consideração as tecnologias de tratamento disponíveis, tendo em mente que padrões excessivamente restritos podem não ser sustentáveis e, paradoxalmente, levar a uma menor proteção porque podem ser vistos como inatingíveis sob as circunstâncias locais e, dessa forma, ignorados (Carr, 2005).

Outro ponto a ser levado em conta é o monitoramento dos projetos de reuso. A legislação que rege a reutilização de água residual deve estabelecer também a periodicidade do monitoramento, tanto da qualidade do efluente tratado como do meio onde está sendo reutilizado, de forma a verificar se não há um comprometimento do solo, da água e/ou dos alimentos cultivados.

Resumidamente, conforme alguns autores (ALBERICH et al., 2018; BIXIO et al., 2006; MALISA et al., 2019), para o fortalecimento da reutilização de efluente faz-se necessário um gerenciamento integrado do setor da água, um fortalecimento da cooperação entre os interessados, o estabelecimento de instrumentos econômicos financiadores dos projetos, a construção de confiança e credibilidade e, principalmente, o estabelecimento de critérios claros sobre quando reutilizar e quais os padrões de qualidade que deve-se seguir. A falta de governança, estratégias e políticas relacionadas ao reuso de água residual tratada é um entrave para o aumento de escala de tais projetos (RICART, 2019).

O reuso de água deve ser visto como uma reserva estratégica, especialmente em regiões que já sofrem com stress hídrico, influenciando inclusive no quesito econômico, pois mesmo em situações onde a distância entre a Estação de Tratamento de Água

Residual (ETAR) e o local do reuso indique inviabilidade econômica, numa situação de crise onde não há água disponível, será que essa inviabilidade permaneceria?

#### 4.1. Estudo de caso – Fortaleza

Para exemplificar a potencialidade de reutilização de águas residuais tratadas, escolheu-se a cidade de Fortaleza, no nordeste do Brasil, por localizar-se num país em desenvolvimento e numa região que sofre historicamente com a seca.

O prognóstico do Plano Fortaleza 2040 é que a cidade passe dos atuais 2,6 milhões de habitantes para 3,1 milhões, pressionando cada vez mais os recursos hídricos. Além do crescimento populacional e conseqüente aumento de demanda de água, o cenário futuro deve ter ainda diminuição da oferta e conflitos pela disponibilidade hídrica, como avalia o projeto Gestão Adaptativa do Risco Climático de Seca como Estratégia de Redução dos Impactos da Mudança Climática (Adapta), do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará (UFC) (PAULINO e BEZERRA, 2018).

O grupo Adapta indica o reuso de água domiciliar, com a adaptação das residências em dois sistemas de despejo: um para esgoto e outro para a água cinza, proveniente de chuveiros e pias, que poderia ser tratada e destinada a usos como descarga de vaso sanitário (PAULINO e BEZERRA, 2018).

Outra possibilidade de reuso nessa cidade é o industrial, pelas indústrias do Porto do Mucuripe, cujo abastecimento de água é feito pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE). Considerando que o Porto do Mucuripe localiza-se dentro da cidade de Fortaleza que possui várias ETAR's, um índice de cobertura de coleta e tratamento de esgoto em torno de 60%, com previsão de aumento e construção de mais 3 ETAR com nível terciário e um emissário submarino que lança no mar a maior parte do esgoto coletado na cidade, seria importante realizar um estudo de viabilidade da reutilização de águas residuais tratadas em Fortaleza, pelas indústrias desse porto, a exemplo do estudo de CAIXETA (2010), que concluiu pela viabilidade do reuso do efluente tratado na ETAR do distrito industrial de Maracanaú pelas indústrias desse complexo. Ainda conforme CAIXETA (2010), o reuso industrial de efluente tratado depende da garantia de qualidade, da quantidade e do preço competitivo com a atual fonte de abastecimento.

Há ainda um potencial de reutilização para irrigação das áreas verdes da cidade. Segundo CAIXETA (2010), as áreas verdes de Fortaleza são irrigadas com água da CAGECE, com água de poço e com água bruta proveniente da Lagoa do Opaia, com um consumo aproximado de 315 m<sup>3</sup>/dia e de 7.560 m<sup>3</sup>/mês, volume suficiente para abastecer uma

população de 2.100 habitantes, com um per capita de 150 L/dia. Em termos de volume e qualidade de esgoto tratado para uso na irrigação dessas áreas, a autora concluiu haver vazão suficiente para atender a demanda, necessitando-se de um pós-tratamento para retirada de algas, diminuindo a cor e a turbidez e, conseqüentemente, a possibilidade de rejeição por parte dos usuários.

Conforme CAIXETA (2010), há também um grande potencial de reuso do efluente tratado na Região Metropolitana de Fortaleza e no interior do estado do Ceará para agricultura e aquicultura, destacando-se que o sucesso da implementação do reuso, em todas as suas modalidades, depende do comprometimento e articulação do Governo do Estado e do estabelecimento de diretrizes que permitam que a prática do reuso se torne segura e difundida.

O Brasil não possui uma legislação nacional que trate da temática, mas o estado do Ceará já estabeleceu padrão para reuso, através da Resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente (COEMA) N° 02, de 02 de fevereiro de 2017. Dessa forma, portanto, um passo importante já foi dado pelo Estado para incentivar a reutilização de águas residuais tratadas.

## 5. CONCLUSÃO

Em um cenário de alterações climáticas e previsão de redução da disponibilidade hídrica, o reuso de água residual tratada apresenta-se com um grande potencial como fonte alternativa de água, principalmente para fins não potáveis, mas também para fins potáveis, dependendo da realidade local, como prova a Namíbia com sua planta de tratamento de esgoto para produção de água potável.

Apesar dos vários casos de sucesso, observou-se que o percentual de reuso de água residual, a nível mundial, ainda é baixo. Isso pode ser explicado por que, ao comparar com as fontes convencionais de água, o gerenciamento dessa matéria-prima é mais complexo, envolve custos mais elevados, é visto como arriscado em termos de saúde e o seu uso é condicionado pela existência de regulamentação.

Vencida as barreiras técnicas, institucionais e sociais, observa-se uma grande potencialidade de aumento do reuso de águas residuais tratadas, especialmente em países em desenvolvimento onde somente uma média de 8% do esgoto é tratado e muito efluente bruto é utilizado na agricultura, como na China e na Índia (DUONG e SAPHORES, 2015). Somando a essa realidade as previsões de aumento populacional, com o conseqüente aumento do volume de esgoto produzido, vislumbram-se uma expansão das práticas de reutilização de água residual tratada para as diversas

finalidades possíveis, de forma a tornar as regiões mais resilientes.

Destaca-se também a necessidade de fortalecer as pesquisas em tratamento e reuso de efluentes, principalmente no tocante aos riscos associados à saúde com os poluentes emergentes e encontrar uma maneira de tornar os custos associados competitivos com as fontes convencionais. Nesse cenário surge a vertente do monitoramento, extremamente necessário para garantir a eficiência e a segurança dos projetos de reuso.

É inegável que as atividades antropogênicas têm interferido na disponibilidade hídrica global por meio das alterações climáticas, mas o mesmo homem que destrói é capaz de encontrar a solução para esse problema e o reuso de água residual tratada é uma dessas soluções, necessitando de um maior comprometimento dos gestores públicos e engajamento dos interessados.

## REFERÊNCIAS

- Alberich, J. P., Mukhtarov, F., Dieperink, C., Driessen, P., & Broekman, A. (2018). **Upscaling urban recycled water schemes**: An analysis of the presence of required governance conditions in the city of Sabadell (Spain). *Water (Switzerland)*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/w11010011>
- Bixio, D., Thoeye, C., De Koning, J., Joksimovic, D., Savic, D., Wintgens, T., & Melin, T. (2006). Wastewater reuse in Europe. *Desalination*, 187(1–3), 89–101. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.04.070>
- Caixeta, C. E. T. (2010). **Avaliação do atual potencial de reúso de água no estado do Ceará e propostas para um sistema de gestão** (Tese de Doutorado). Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Fortaleza, CE, Brasil.
- Carr, R. (2005). Who guidelines for safe wastewater use - More than just numbers. *Irrigation and Drainage*, 54(SUPPL. 1), 103–111. <https://doi.org/10.1002/ird.190>
- Duong, K., & Saphores, J.-D. M. (2015). Obstacles to wastewater reuse: an overview. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 2(3), 199–214. <https://doi.org/10.1002/wat2.1074>
- Gondhalekar, D., Al-azzawi, M., & Drewes, J. E. (2019). Urban Water Reclamation with Resource Recovery as a Cornerstone of Urban Climate Change Resilience. In W. L. Filho (Ed.), **Handbook of Climate Change Resilience** (Issue November, pp. 0–22). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-71025-9>
- Hidalgo, D., Irusta, R., Martinez, L., Fatta, D., & Papadopoulos, A. (2007). Development of a multi-function software decision support tool for the promotion of the safe reuse of treated urban wastewater. *Desalination*, 215(1–3), 90–103. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.09.028>
- Jiménez Cisneros, B. E., Oki, T., Arnell, N., Benito, J. G., Döl, P., Jiang, T., & Mwakalila, S. S. (2014). Freshwater resources. In C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, & L. L. White (Eds.), **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** (pp. 229–269). Cambridge University Press.

Lazarova, V., Asano, T., Bahri, A., & John, A. (2013). **Milestones in Water Reuse: The Best Success Stories**. IWA Publishing. <https://doi.org/10.2166/9781780400716>

Malisa, R., Schwella, E., & Kidd, M. (2019). From 'government' to 'governance': A quantitative transition analysis of urban wastewater management principles in Stellenbosch Municipality. **Science of the Total Environment**, 674, 494–511. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.194>

Meneses, M., Pasqualino, J. C., & Castells, F. (2010). Environmental assessment of urban wastewater reuse: Treatment alternatives and applications. **Chemosphere**, 81(2), 266–272. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.05.053>

Mohammad, A. S. (2018). **The Challenges of Wastewater Disposal and Reuse in Erbil-KRG** (Issue June). School of Social Sciences and Engineering/ University of Kurdistan Hewlêr.

Narr, C. F., Singh, H., Mayer, P., Keeley, A., Faulkner, B., Beak, D., & Forshay, K. J. (2019). Quantifying the effects of surface conveyance of treated wastewater effluent on groundwater, surface water, and nutrient dynamics in a large river floodplain. **Ecological Engineering**, 129(February), 123–133. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.12.030>

Paulino, N., & Bezerra, R. (2018). Consumo deve chegar a 20 mil litros por segundo, diz estudo - Metro - Diário do Nordeste. **Diário Do Nordeste**. <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/editorias/metro/consumo-deve-chegar-a-20-mil-litros-por-segundo-diz-estudo-1.1943200>

Ricart, S. (2019). Challenges on European Irrigation Governance: From Alternative Water Resources to Key Stakeholders' Involvement. **Journal of Ecology & Natural Resources**, 3(2). <https://doi.org/10.23880/jenr-16000161>

# POTENCIAL DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM ESCOLA RURAL NO MUNICÍPIO DE PORTEIRAS - CEARÁ

## POTENTIAL FOR RAINWATER CAPTURE IN A RURAL SCHOOL IN THE MUNICIPALITY OF PORTEIRAS - CEARÁ

### Luan Alves Furtado

Discente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Brasil

### Damiana Andreia Tavares Soares

Discente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Brasil

### Alda Viana Duarte

Discente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Brasil

### Katharine Taveira de Brito Medeiros

Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Brasil

---

### RESUMO

O semiárido ocupa 12% do território nacional e é caracterizado por prolongados períodos de estiagem. As cisternas se apresentam como alternativa para mitigação da escassez hídrica. O objetivo deste estudo é analisar o potencial de captação de águas pluviais em uma escola municipal na zona rural de Porteiras-CE. Foram analisados os dados pluviométricos locais, a área de captação e a demanda de água na instituição para determinar se a escola poderia atingir a autossuficiência hídrica através do aproveitamento de águas de chuva. O volume médio estimado para a captação é 1408,1 m<sup>3</sup>/ano e a demanda da escola 915 m<sup>3</sup>/ano, diante disto, a área de captação na unidade é suficiente para atender sua demanda sendo necessário apenas 65,6% da área total disponível. O aproveitamento pluvial garante a autossuficiência hídrica na escola, reduzindo a demanda do sistema público e os respectivos custos envolvidos.

**Palavras-chave:** Águas pluviais. Aproveitamento. Autossuficiência hídrica.

### ABSTRACT OR RESUMEN

The semiarid region occupies 12% of the national territory and is characterized by prolonged periods of drought. Cisterns are an alternative to water shortage mitigation. The objective of this study is to analyze the potential of rainwater harvesting in a municipal school in the rural area of Porteiras-CE. We analyzed the local rainfall data, the catchment area and the demand for water in the institution to determine whether the school could achieve water self-sufficiency through rainwater use. The average volume estimated for pickup is 1408.1 m<sup>3</sup>/year and the school demand 915 m<sup>3</sup>/year, therefore, the pickup area in the unit is sufficient to meet its demand and only 65.6% of the total available area is necessary. The pluvial utilization ensures the water self-sufficiency in the school, reducing the demand of the public system and the respective costs involved.

**Keywords:** Rainwater. Utilization. Water self-sufficiency.



## 1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural de grande importância no planeta, sendo usada para diversos fins, como no uso doméstico, na agricultura e em indústrias. Reconhecendo-a como recurso vital, a Resolução 64/292, estabelecida através da Organização das Nações Unidas – ONU, determina o Direito Humano Fundamental a água potável, advindo dos direitos à vida, à dignidade humana, à saúde física e mental e à um padrão de vida adequado.

Os problemas de disponibilidade hídrica afetam inúmeros países, dentre eles o Brasil, que possui uma região semiárida de 969.589 km<sup>2</sup> envolvendo os estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais (CORREIA et al., 2011). As regiões semiáridas apresentam como características principais a aridez do clima, a deficiência hídrica e a insuficiência de precipitações pluviométricas, que acarretam um prolongado período seco anual e elevam a temperatura local, caracterizando a aridez sazonal (FUNASA, 2019). Deste modo, a gestão de águas no Brasil é realizada através de medidas legais que regulam o seu acesso e visam a proteção deste recurso.

A Lei brasileira de número 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, possui fundamentos baseados na determinação de que a água é um recurso natural limitado e um bem de domínio público. Em seus objetivos, propõe assegurar as gerações atuais e futuras a disponibilidade deste recurso em quantidade suficiente e qualidade adequada, sendo perceptível o reconhecimento de sua relevância frente a outros recursos naturais, bem como a indispensável garantia do seu acesso (BRASIL, 1997). Deste modo, a lei prevê o acesso a água como um direito de todos os cidadãos do país.

Embora a água seja definida como um bem de domínio público, dados apresentados através do Plano Nacional de Saneamento Básico – PLAN SAB, em sua revisão para o ano de 2019, mostra que, da população brasileira, 57,7% dos habitantes possuem abastecimento de água potável, 39,6% possuem atendimento precário e 2,7% da população não possui nenhum meio de atendimento (BRASIL, 2019). Deste modo, é possível inferir que, mesmo após uma década, os avanços quanto a implantação de mecanismos de acesso a água potável pelos brasileiros não atingiu sua integralidade, como propõe a Lei 11.445, de 5 de janeiro de 2007, instituída como marco legal do saneamento brasileiro (BRASIL, 2007).

No aspecto social, pode-se afirmar que o alcance por parte da população à medidas de saneamento tem forte impacto sobre a diminuição das desigualdades de acesso a educação no país. Segundo relatório de 2018 da Unicef intitulado

“Pobreza na infância e na adolescência”, 24,8% das crianças e dos adolescentes no Brasil vivem uma privação do saneamento, e a principal consequência decorrente deste problema é a defasagem na sua educação. O relatório também concluiu que os jovens do campo sofrem mais privações do que aqueles que vivem nas áreas urbanas e que a região Nordeste apresentou o segundo maior índice de privação do acesso a água por parte da população (UNICEF, 2018).

Uma das perspectivas que corroboram com o déficit no acesso democrático à água encontra-se fortemente atrelada a intensificação da distribuição prioritária de água potável aos centros urbanos em detrimento às pequenas cidades, periferias urbanas e áreas rurais (REZENDE; HELLER, 2008). No entanto, é importante ressaltar que a presença de redes de distribuição em comunidades rurais apresentou aumento sistemático passando de 9%, em 1991, para 28% em 2010 (INFOSANBAS, 2010). Os dados retratam um novo cenário caracterizado por uma inversão do assistencialismo público na área rural, que passa a ser assistida mais ativamente pelo governo por meio de políticas públicas de saneamento, no entanto, estes mesmos dados ainda chamam atenção para os desafios da universalização do acesso democrático ao saneamento.

Embora existam no semiárido as fontes alternativas atuando como reservas hídricas em períodos de escassez, como os açudes, o ciclo hidrológico natural representa uma ameaça as quantidades volumétricas nesses reservatórios, a incidência solar e percolação no solo favorecem a diminuição desse volume ao longo do tempo. É importante evidenciar também os problemas advindos da falta de controle quanto a exposição da água a agentes patogênicos, que muitas vezes são capazes de comprometer a segurança hídrica da água e atuam como agravante dos problemas de saúde pública em comunidades que dependem unicamente deste tipo de reserva hídrica.

Avanços técnicos como o surgimento de tecnologias para o aproveitamento de águas de chuva, e sua aplicação no semiárido nordestino brasileiro, contribuiu com o amortecimento dos impactos causados pelos longos períodos de estiagem, a limitação de reservas hídricas e o déficit de políticas públicas para acesso a sistemas de abastecimento de água convencionais.

Os reservatórios, comumente chamados de cisternas, acumulam as águas precipitadas durante os períodos de chuva e atuam como fonte do recurso em períodos cuja pluviometria é baixa. Estes dispositivos reduzem os índices de evaporação da água devido ao fecho hermético, além disso, dado o volume limitado que podem armazenar e a possibilidade de higienização, o controle químico, físico

e microbiológico da água pode ser monitorado com maior facilidade, garantindo segurança hídrica aos seus usuários.

As cisternas podem ser enxergadas como uma alternativa para a compensação dos efeitos de ordem geográfica e da falta de assistencialismo público à população. Dada a relevância destes sistemas no enfrentamento da escassez hídrica e sua importância social, o presente estudo investiga o potencial de captação de águas de chuva em uma escola de comunidade rural da cidade de Porteiras, localizada no sul cearense, com vista a proposição de implementação desses sistemas como alternativa para a garantia de autossuficiência hídrica da instituição.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De acordo com o INSA - Instituto Nacional do Semiárido (2013), o semiárido brasileiro se estende por grande parte de 8 estados do nordeste também pelo norte de Minas Gerais, totalizando 1135 municípios que correspondem a 12% do território nacional, onde vivem 11,85% dos habitantes do país, 62% em área urbana e 38% em área rural.

O semiárido possui características particulares como pluviometria média anual inferior a 800 mm, índice de aridez de até 0,5 e risco de seca, ou prolongamento da estação seca, maior que 60% (INSA, 2013). Embora a limitação dos recursos hídricos no Nordeste seja a principal causa para a escassez, abordagens como as de Tugoz et al. (2017), apontam para o recente agravamento deste problema, decorrente da cultura do desperdício de água potável.

Embora a densidade de ocupação do semiárido seja bastante difusa, os direitos legais entre os cidadãos devem ser interpretados de maneira generalizada. No entanto, a limitação do acesso a políticas públicas motivou um processo de êxodo e superlotação das cidades, conforme observa Menezes et al. (2013, p. 460):

“O contexto histórico, político e socioeconômico do semiárido, caracterizado por apresentar baixo nível de sustentabilidade hídrica em decorrência da precipitação pluviométrica, demonstram que durante muito tempo, a seca foi considerada como principal fator que provocava as precárias condições de vida dos sertanejos, levando-os a intensificar o processo de êxodo rural que ainda perdura no interior da região Nordeste.”

O conseqüente crescimento populacional e a expansão dos usos múltiplos são responsáveis pelo aumento da demanda de água potável, motivando a busca por meios alternativos que visem a sua reutilização (CAMARA et al., 2019).

Os sistemas de captação de águas de chuva, por conseguinte, podem ser vistos como tecnologia apropriada na redução do consumo de água tratada e medida estratégica para o desenvolvimento social e econômico da região semiárida, dada sua simplicidade, viabilidade e baixo custo (MENEZES et al., 2013; LIMA et al., 2017).

De acordo com Camara et al. (2019, p. 11), “ um sistema de captação de água pluvial possui boa relação de custo – benefício, sendo um aliado contra a escassez, além de promover a redução no custo de aquisição de água potável e garantir a sustentabilidade a todo o sistema”. As perspectivas positivistas quanto a implementação destes sistemas são reforçadas quando confrontadas com políticas assistencialistas promovidas pelo governo.

Segundo Silva et al. (2019), existem no Brasil e no mundo diferenciadas pesquisas e programas relacionados a implantação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais. No Nordeste, a Articulação Semiárido Brasileiro (ASA), desenvolve projetos de grande vulto, como ‘Um Milhão de Cisternas’, ‘Cisternas nas Escolas’ entre outros, que visam a melhoria da convivência com o semiárido, propiciando o acesso a água durante os períodos de estiagem (ASA, 2020). O projeto Cisternas nas Escolas, contempla unidades rurais em nove estados, com a construção de cisternas de 52 mil litros em cada unidade, com vista a garantia da água durante o ano letivo. Outra medida de governo de grande relevância é o Programa Água para Todos, que já instalou mais 800 mil cisternas rurais no país (BRASIL, 2019).

Tugoz et al. (2017) destacam que a decisão de instalar cisternas para a captação e uso da água da chuva em escolas favorece a utilização economicamente eficiente e socialmente justa dos recursos hídricos, ao mesmo tempo que estimula nos alunos uma consciência voltada à sustentabilidade e preservação ambiental, possibilita o pleno funcionamento deste espaço, independente do enfrentamento de períodos de escassez.

Tugoz et al. (2017, p. 28), ainda faz menção, dentro do contexto de sustentabilidade ambiental, sobre a capacidade de difusão social de uma consciência ambiental que a escola seria capaz de atingir, conforme se pode observar:

“A escola passa a ser considerada um espaço propício ao desenvolvimento de ações voltadas para a educação ambiental, uma vez que pode promover nos educandos uma busca contínua pelo equilíbrio entre homem e natureza, e instigá-los a disseminar esse conhecimento voltado à sustentabilidade”.

Nesse contexto, a decisão de instalar cisternas para a captação e uso da água da chuva em escolas atua como uma ferramenta de apoio para a conscientização frente ao aproveitamento de recursos hídricos e o enfrentamento da deficiência hídrica experimentada por regiões como as do nordeste brasileiro, enquanto promove a formação de agentes de mudanças e multiplicadores de ações sustentáveis.

### 3. METODOLOGIA

O presente estudo foi desenvolvido em uma unidade escolar do Sítio Muquém, com coordenadas geográficas de referência 7°32'31.5"S 39°02'04.6"W, no município de Porteiras – CE. A cidade possui uma área territorial de 217,6 km<sup>2</sup>, seu clima é tropical quente semiárido brando, com temperatura média de 25°C, pluviosidade média de 904,2 mm, com período chuvoso de janeiro a abril e uma população de 15.061 habitantes (IPECE, 2016).

A escola Professora Beatriz Pinheiro da Costa localiza-se a 9,7 km da sede do município, dispõe de 13 salas de aula e uma área construída de aproximadamente 2300 m<sup>2</sup>. Oferta os ensinos infantil e fundamental, funcionando nos turnos matutino e vespertino. Sua capacidade total é de 450 alunos e a unidade conta com um quadro de 41 servidores.

Os dados técnicos foram reunidos mediante consulta a prefeitura municipal de Porteiras e a coordenação da unidade escolar localizada na zona rural do município.

O levantamento das áreas de captação foi realizado com a aquisição da planta arquitetônica bem como através da observação visual com o uso de ferramentas disponíveis no software Google Earth e seguiu as orientações da ABNT NBR 10844 - Instalações prediais de águas pluviais. O consumo médio de água foi estimado mediante o uso de dados de volume consumido durante o período letivo de 2019, informados pelo SISAR nas faturas mensais do referente ano.

A intensidade pluviométrica utilizou a série histórica 2011 – 2020, levantada pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) para o município de Porteiras. O uso de dados de precipitação locais compreende as diretrizes recomendadas pela ABNT NBR 10844.

Os resultados obtidos reúnem a capacidade de captação pela unidade através das coberturas, bem como a demanda por parte da comunidade escolar, considerando o uso múltiplo para fins potáveis e não potáveis, como higienização da escola, produção de refeições, dessedentação humana e irrigação para o cultivo de plantas frutíferas nas dependências da instituição.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

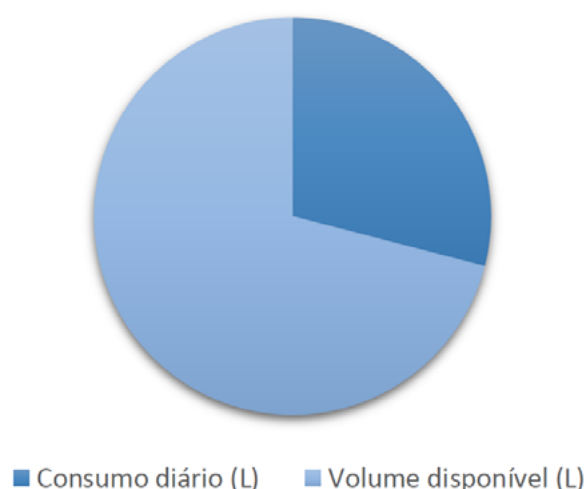
A água consumida na unidade é oriunda do sistema de abastecimento público que atende a comunidade local e é gerida pelo Sistema Integrado de Saneamento Rural (SISAR). Os valores decorrentes do consumo de água na unidade são repassadas diretamente a prefeitura municipal da cidade que arca com essas despesas com parte do orçamento público destinada a gestão do município.

A unidade de ensino conta com dois reservatórios para alimentação da unidade. O reservatório inferior é feito em concreto armado e localiza-se no subsolo, conta com um conjunto motor bomba para elevação da água, sua capacidade total de armazenamento é de 10 mil litros, sendo abastecido pela rede pública. O reservatório superior possui 1/5 da capacidade de armazenamento do inferior e é fabricado em alvenaria estrutural. Deste modo, o volume útil total, quando disponível 100% da capacidade de armazenamento na escola, corresponde a 12 mil litros.

De acordo com os dados levantados junto a coordenação da escola, os problemas relativos a falta d'água são recorrentes na instituição. Conforme avaliou-se, o consumo diário para usos múltiplos, o racionamento de água na rede pública e a limitação dos horários de distribuição na rede em detrimento do volume do reservatório são incompatíveis, não há capacidade suficiente para garantir a água por mais de 3 dias na instituição. Este problema incorre diretamente no funcionamento da unidade, implicando no cancelamento de aulas

A figura 1 traz os resultados considerando a capacidade máxima de ocupação do edifício e um consumo médio de 10 L por pessoa em um único dia de serviço na unidade.

**Figura 1** — Oferta e disponibilidade hídrica na escola.

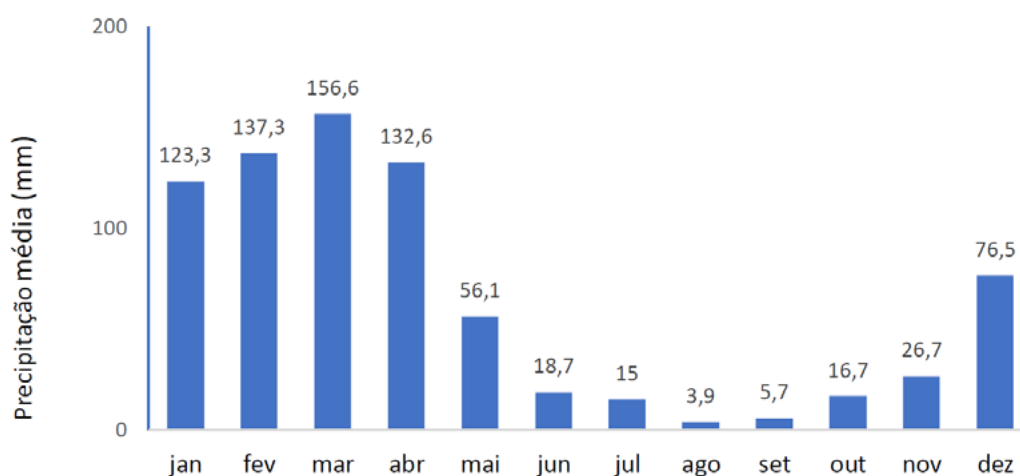


**Fonte:** Autores (2020).

Quando comparado ao valor correspondente a disponibilidade hídrica da unidade, a instituição teria condições de funcionamento com abastecimento de água durante apenas dois dias, dado que o consumo diário representa uma fração equivalente a 24,4% do volume total.

A partir dos dados da série pluviométrica foi possível elaborar pluviograma médio mensal do período compreendido entre 2011 e 2020 para a localidade (Fig. 2).

**Figura 2** — Pluviograma da cidade de Porteiras Ceará.



**Fonte:** Autores (2020).

Observa-se irregularidade da distribuição das chuvas ao longo do ano, como é esperado para a região semiárida. A máxima precipitação para o município pode ser observada no mês de março e mínima em agosto, com média de 64,1 mm. Também é possível observar que durante seis meses do ano, o volume médio de chuvas não chega a atingir 50 mm e em quatro deles ultrapassa os 100 mm. As áreas de captação foram levantadas conforme exibe o Quadro 1. Foram calculadas conforme orienta a ABNT NBR 10844/1989, considerando os incrementos devidos à inclinação das coberturas, que variaram entre 25% e 40%. A área de telhados compreende 2288,5 m<sup>2</sup>, dividida em 7 blocos entre salas de aula, direção, refeitório e biblioteca, com telhas cerâmicas e uma quadra poliesportiva com cobertura metálica.



**Tabela 1** — Levantamento de áreas de contribuição por bloco

Bloco	C (m)	L. 1 (m)	L.2 (m)	i (%)	Área (m <sup>2</sup> )	Descrição
1	39,3	5,1	5,1	25	411,17	4 salas de aula, diretoria, cantina, 2 WC
2	16,3	4,5	4,5	25	149,53	1 Sala de aula, 1 sala de informática
3	18,0	3,5	3,5	25	129,88	2 salas de aula, 2 banheiros, 1 depósito
4	17,0	2,9	2,9	25	100,46	1 sala de aula, 3 banheiros
5	18,5	3,4	3,4	25	129,67	1 sala de aula, 1 sala, 1 biblioteca
Quadra	33,1	13,0	13,0	40	926,89	1 quadra poliesportiva coberta
6	24,8	3,3	3,3	30	168,30	1 Refeitório, 1 cozinha, 1 depósito
7	38,4	3,4	3,4	30	272,62	4 salas de aula, 2 banheiros
					<b>Σ (m<sup>2</sup>)</b>	<b>2288,53</b>

**Fonte:** Autores (2020).

O volume médio de água consumido pela escola corresponde a aproximadamente 76,3 m<sup>3</sup>/mês, com base na média aritmética do consumo de janeiro a dezembro do ano de 2019, totalizando um volume de 915 m<sup>3</sup>/ano. Esse valor representa o uso de água para usos múltiplos pela unidade, conforme descrito na metodologia do presente trabalho.

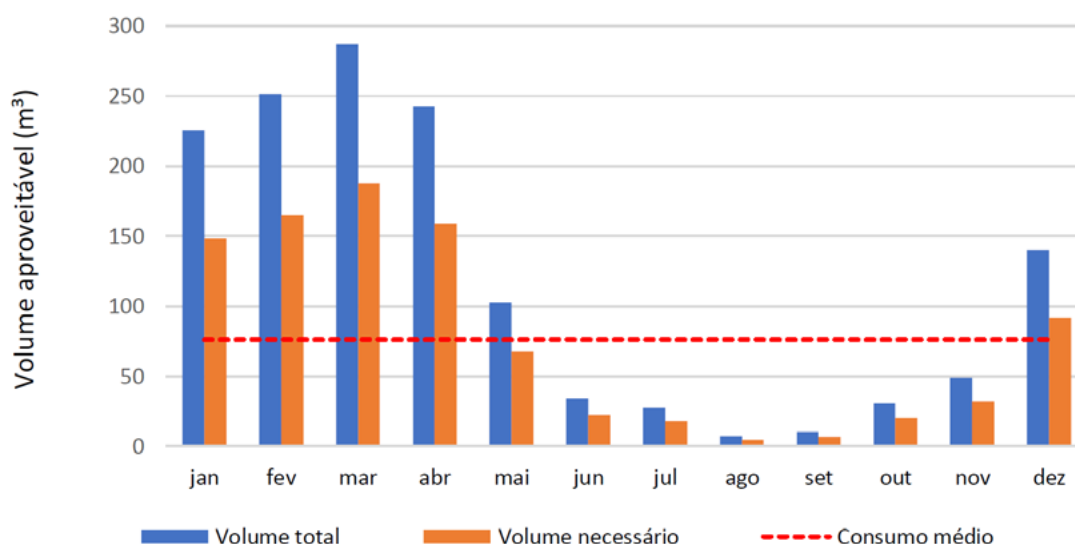
O volume de captação teórico depende do coeficiente de escoamento superficial da cobertura, além do índice de absorção, perdas por porosidade do material da telha, evaporação, calhas e dutos com vazamentos, ineficiência no processo de captação, bem como da eficiência do sistema de descarte do escoamento inicial, para que ocorra a retirada de impurezas que escoam junto da água em direção ao reservatório durante eventos de precipitação (ABNT, 2007; LEITE; SANTOS, 2015; BEZERRA et al., 2010; CANDINE et al., 2019).

O volume de água de chuva aproveitável foi estimado através da seguinte equação  $V=PA \times C$ , contida na ABNT NBR 15527/2019, onde V é o volume de água aproveitável; P é a precipitação; A é a área de coleta; C é o coeficiente de Runoff e é o fator que representa a eficiência do sistema de captação (ABNT, 2019).

O valor para o coeficiente de Runoff (C), geralmente adotado equivale a 0,95, enquanto o fator de captação (i) varia de 0,5 a 0,9, um valor prático estimado para C, quando não se têm dados suficientes através de processo investigativo in loco, durante a utilização dos sistemas de descarte (TOMAZ, 2010). Para este estudo, o valor de C adotado é 0,95 e i é 0,8.

Os resultados obtidos para os dados coletados e analisados podem ser observados na figura 3, que mostra, em azul o potencial de captação utilizando toda a área dos telhados, e em laranja utilizando apenas 1500 m<sup>2</sup>, ou seja, 65,6% da área total, suficiente para acumular todo o volume demandado ao longo do ano com base na média de consumo mensal, para o ano de 2019, pela instituição.

**Figura 3** — Pluviometria média do município de Porteiras



**Fonte:** Autores (2020).

Nos meses de maio a novembro observa-se que a pluviometria decresce, de tal modo que é insuficiente para suprir o consumo escolar de 76,25 m<sup>3</sup>/mês. O acúmulo de 39,62% do volume total de água consumida pela unidade deve acontecer nos meses de maior pluviometria, entre janeiro e abril, de modo a assegurar a autossuficiência hídrica durante o ano letivo escolar e compensar os efeitos do período de seca experimentados durante os demais meses do ano, quando não será possível reabastecer o reservatório.

Comparando a atual disponibilidade de água dentro da instituição por meio de reservatório abastecido pelo sistema público local com a oferta hídrica mediante a captação e reserva de águas pluviais, entende-se haver sustentabilidade para abastecimento da comunidade escolar em sua totalidade, mesmo sem a complementação por meio do reservatório pré existente.

É válido salientar que a escola dispõe de aproximadamente 2000 m<sup>2</sup> de área livre, conforme estimativa realizada através de sensoriamento remoto, com o uso do

Google Earth. Essa área localiza-se próxima aos blocos de salas de aula, e poderia ser utilizada para a implantação dos reservatórios, para armazenamento da água captada.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS/ CONCLUSÃO

Diante da demanda de água para usos múltiplos envolvendo fins potáveis e não potáveis na escola, a instalação de um sistema de captação de águas pluviais, conforme apresentado ao longo deste estudo, se mostra um método vantajoso e sustentável, cuja implementação é viável na unidade para o melhor aproveitamento dos recursos hídricos disponíveis na região, no caso, o uso de águas de chuva.

A instalação destes sistemas oportuniza a possibilidade de gerar uma consciência ecológica na unidade, através do aproveitamento deste recurso, e consequente diminuição dos gastos públicos com água na instituição, podendo este estudo viabilizar a difusão da ideia de aproveitamento de águas de chuva em outras unidades escolares locais do município, como uma alternativa para o enfrentamento da estiagem na região, e redução de eventuais prejuízos ao ano letivo escolar.

Através dos resultados obtidos, é possível observar que a escola possui uma área de captação suficientemente grande sendo necessária apenas 1500m<sup>2</sup> do total, superando a margem demandada para o consumo anual, dispensando a captação de águas de chuva em parte dos blocos de salas de aula da instituição.

A pluviosidade exibe valores acima do consumo médio mensal da escola e o acúmulo de água durante os meses de maior oferta compensam os meses de baixa pluviosidade, garantindo volume suficiente para as demandas de água durante todo o ano letivo escolar.

É importante relatar que o aproveitamento das águas de chuva para fins potáveis envolve a adoção de sistemas de descarte de águas iniciais, além de cuidados com a higienização, inspeção e manutenção periódica dos reservatórios, áreas de captação e calhas, além do controle físico, químico e microbiológico da água por ele reservada, que também deverá ser realizado periodicamente, a fim de reduzir quaisquer riscos de contaminação por doenças de veiculação hídrica.

A implementação de um sistema de captação de águas de chuva envolve a necessidade de investimentos públicos, bem como o dimensionamento de infraestrutura adequada para o local, de modo a facilitar sua implementação e gestão, tais assuntos são de suma relevância, podendo motivar estudos futuros.

## REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844:** Instalações prediais de águas pluviais - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1989. 13 p.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527:** Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. 10 p.
- ASA – ARTICULAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO (ed.). **Sobre nós:** História. 2020. Disponível em: <https://www.asabrasil.org.br/sobre-nos/historia>. Acesso em: 29 agosto 2020.
- BEZERRA, S. M. C.; CHRISTIAN, P.; TEIXEIRA, C. A.; Farahbakhsh, K. Dimensionamento de reservatório para aproveitamento de água de chuva: comparação entre métodos da ABNT NBR 15527:2007 e Decreto Municipal 293/2006 de Curitiba, PR. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.10, n.4, p.219-231, 2010.
- BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, [...]. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 09 jan. 1997.
- BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2002.** Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, [...]. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 08 jan. 2007.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Plano Nacional de Saneamento Básico: Versão revisada – 2019.** Brasília, DF, 07 março. 2019. p. 226. Disponível em: <[https://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos\\_PDF/plansab/Versaoatualizada07mar2019\\_consultapublica.pdf](https://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/plansab/Versaoatualizada07mar2019_consultapublica.pdf)>. Acesso em: 04 fev. 2020.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Água para Todos.** Disponível em: <https://www.mdr.gov.br/contato/317-secretaria-nacional-de-programas-urbanos/agua-para-todos/6076-agua-para-todos>. Acesso em: mai. 2020.
- CAMARA, C. D. et al. Potencial de captação de água da chuva no Colégio Estadual do Campo Dom Pedro II no município de São Miguel do Iguazu – Paraná. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v.2, n.4, p.1464-1472, 2019.
- CANDIDE, P. F.; BELÉM JÚNIOR, J. S. Aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis – Estudo de caso: Bairro social Reny Cury. **Revista Espacios**, v.38, n.46, p.18-30, 2017.

CORREIA, R. C et al. A região semiárida brasileira. In: VOLTOLINI, T. V. (Ed.). **Produção de caprinos e ovinos no Semiárido**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011. p. 21-48.

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. 5.ed. Brasília, DF: FUNASA, 2019.

FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Calendário de chuvas no Estado do Ceará**. 2020. Disponível em: <http://www.funceme.br/app/calendario/produto/municipios/media/anual?data=2009-1-1>. Acesso em: 28 maio 2020.

INFOSANBAS. **Abastecimento de água**. 2010. Disponível em: <https://infosanbas.org.br/artigos/abastecimento-de-agua/>. Acesso em: 10 mar. 2020.

INSA – Instituto Nacional do Semiárido (ed.). **O semiárido brasileiro: riquezas, diversidades e saberes**. Campina Grande, PB: INSA, 2013. Disponível em: <https://portal.insa.gov.br/images/acervocartilhas/O%20Semi%C3%A1rido%20brasileiro%20riquezas%20diversidades%20e%20saberes.pdf>. Acesso em: 28 maio 2020.

IPECE (Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará) **Perfil Municipal**. 2007. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/12/129.htm>. Acesso em: 30 jan. 2020.

LEITE, P. A.; SANTOS, I. F. S. Dimensionamento preliminar de reservatório de águas pluviais para o prédio do instituto de recursos naturais (Irn-Unifei). **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.4, n.4, p.42-52, 2015.

LIMA, J. A et al. Potencial da economia de água potável pelo uso de água pluvial: análise de 40 cidades da Amazônia. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.16, n.3, p.291-298, 2011.

LIMA, K. L. B. A. et al. Análise da viabilidade de implantação de captação de águas pluviais em escola pública no Recife – PE. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v.5, n.38, p.1-17, 2017.

MENEZES, G. F. F et al. Indicadores de qualidade, manejo e uso da água pluvial armazenada em cisternas do semiárido baiano. **Revista Agrarian**, v.6, n.22, p.460-472, 2013.

RESENDE, S. C.; HELLER L. **O saneamento no Brasil: políticas e interfaces**. Belo Horizonte: UFMG – Escola de Engenharia, 2008.

SILVA, C. R. et al. Análise técnica e econômica da captação e uso de águas pluviais em uma edificação com diferentes tipos de coberturas. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v.6, n.14, p.911-930, 2019.

TUGOZ, J. E.; BERTOLINI, G. R. F.; BRANDALISE, L. T. Captação e aproveitamento da água das chuvas: o caminho para uma escola sustentável. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v.6, n.1, p.26-39, 2017.

TOMAZ, P. **Água**: pague menos. São Paulo: Plínio Tomaz, 2010. 135 p. ISBN 978-85-905933-7-9.

UNICEF - FUNDO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A INFÂNCIA. **Pobreza na infância e na adolescência**. UNICEF. Brasil, p. 1-20. 13 ago. 2018. Disponível em: [https://www.unicef.org/brazil/media/156/file/Pobreza\\_na\\_Infancia\\_e\\_na\\_Adolescencia.pdf](https://www.unicef.org/brazil/media/156/file/Pobreza_na_Infancia_e_na_Adolescencia.pdf). Acesso em: 10 set. 2020.

# REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA RESIDUAL TRATADA EM MEIO URBANO: CONTRIBUIÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DE GUIA METODOLÓGICO DE APOIO À DECISÃO

## TREATED WASTEWATER REUSE IN URBAN ENVIROMENT: CONTRIBUTION TO THE DEVELOPMENT OF A METHODOLOGICAL GUIDE FOR DECISION SUPPORT

**Edilson Holanda Costa Filho**  
ULisboa, Portugal  
*edilsonholanda@gmail.com*

**José Manuel de Saldanha Gonçalves Matos**  
Docente da ULisboa, Portugal

---

### RESUMO

Considerando as previsões de redução da disponibilidade hídrica pelas alterações climáticas, a reutilização de efluente tratado surge como uma fonte alternativa para varias finalidades. Apesar da importância comprovada, o percentual de reutilização ainda é baixo, devido a várias barreiras. Pretende-se, portanto, descobrir quais são os indicadores e parâmetros relevantes, quais os seus valores aceitáveis e como eles devem ser estruturados no guia metodológico. Para desenvolver essa pesquisa, será realizada uma revisão bibliográfica através da leitura de artigos científicos, dissertações, teses e livros pesquisados no catálogo da Universidade de Lisboa e na plataforma eletrônica "Web of Science", além de reuniões com os órgãos públicos envolvidos com o setor da água e inquéritos para perceber o conhecimento e a aceitação da reutilização de água residual tratada pela população e pelos diversos setores da economia que demandam água, tais como as indústrias, a agricultura e aquicultura.

**Palavras-chave:** Reuso. Alterações Climáticas. Água residual.

### ABSTRACT OR RESUMEN

Considering the predictions of reduced water availability due to climate change, the wastewater reuse appears as an alternative source for various purposes. Despite the proven importance, the percentage of reuse is still low, due to several barriers. It is intended, therefore, to discover which are the relevant indicators and parameters, which are their acceptable values and how they should be structured in the methodological guide. To develop this research, a bibliographic review will be carried out by reading scientific articles, dissertations, theses and books researched in the catalog of the University of Lisbon and on the electronic platform "Web of Science", in addition to meetings with public agencies involved with the water sector and surveys to understand the knowledge and acceptance of the wastewater reuse by the population and by the various sectors of the economy that demand water, such as industries, agriculture and aquaculture.

**Keywords:** Reuse. Climate Change. Wastewater.



## 1. INTRODUÇÃO

Um dos temas mais discutidos atualmente, tanto por leigos quanto pela comunidade científica, é a problemática das alterações climáticas e as suas consequências para a sobrevivência do planeta Terra. Mudança climática é definida como uma alteração no estado do clima que pode ser identificada por mudanças na média e/ou na variabilidade das suas propriedades e que persistem por extensos períodos, tipicamente décadas ou mais (normalmente 30 anos), cujas causas podem ser naturais ou antropogênicas (Allen et al., 2018). Tais mudanças se referem as consequências oriundas da modificação da composição da atmosfera (aumento da concentração de gases de efeito estufa – GEE), como a elevação da temperatura média do planeta à superfície, que por sua vez interfere no ciclo hidrológico, alterando a disponibilidade de água em diversas regiões do planeta (Filippini et al., 2017; Godinho, 2015; Nobre, 2011; Souza & Corazza, 2017; Stocker et al., 2013).

Segundo Jiménez Cisneros et al., (2014), as projeções das alterações climáticas mostram uma redução das fontes renováveis de recursos hídricos, tanto superficial quanto subterrânea, especialmente nas regiões subtropicais, com, aproximadamente, 7% da população mundial exposta a 20% menos fontes de água.

Nos centros urbanos, o contínuo crescimento econômico, a urbanização e a globalização causaram um excessivo consumo de recursos tais como água, energia e comida. Especificamente sobre a disponibilidade hídrica, espera-se que a demanda global por esse recurso exceda a oferta em 40% nos próximos 20 anos (Gondhalekar et al., 2019). Num cenário em que 54% da população mundial já vive em cidades atualmente, com expectativa de aumento para 66% em 2050 (UNRIC, 2016), espera-se que a pressão sobre os recursos hídricos aumente ainda mais.

A cidade de Fortaleza, por exemplo, capital do estado do Ceará, Brasil, possui, aproximadamente, 2,6 milhões de habitantes, com expectativa de atingir 3,1 milhões, segundo o prognóstico do Plano Fortaleza 2040. Além do crescimento populacional e consequente aumento da demanda por água, o cenário futuro deve ter ainda diminuição da oferta e conflitos pela disponibilidade hídrica, como avalia o projeto Gestão Adaptativa do Risco Climático de Seca como Estratégia de Redução dos Impactos da Mudança Climática (Adapta), do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará (Paulino & Bezerra, 2018).

A cidade de Lisboa é outro exemplo de um sítio já bastante afetado pelas alterações climáticas com consequências negativas na disponibilidade de água, nomeadamente devido à subida do nível médio das águas do mar nas zonas baixas da cidade e ao possível aumento da frequência e magnitude dos fenômenos extremos de

precipitação e seca. Aliado a isso, a crescente preocupação com a salubridade, aliada à criação de espaços e corredores verdes para usufruto da população, exerce ainda mais pressão sobre os recursos hídricos da cidade (Gama et al., 2019).

Nos dias atuais, a escassez hídrica é um desafio que já afeta, aproximadamente, 40% da população mundial. A crescente importância da escassez dos recursos hídricos motivou as Nações Unidas a reconhecer a disponibilidade de água fresca e o gerenciamento sustentável da água e do saneamento para todos como um dos 17 objetivos do desenvolvimento sustentável, estabelecidos em 2015 (Alberich et al., 2018).

A reutilização de água residual tratada surge então como uma fonte alternativa confiável de água para as mais variadas finalidades, economizando água potável de alta qualidade e reduzindo o impacto ambiental pelo descarte de água residual em recursos hídricos superficiais (Alberich et al., 2018; Marinho, Coraucci Filho, Roston, Stefanutti, & Tonetti, 2013; Narr et al., 2019). Para implementação da reutilização, entretanto, vários aspectos devem ser considerados, tais como critérios técnicos, ambientais, sociais, políticos, econômicos, legislativo e até meteorológicos locais (Hidalgo et al., 2007). Daí a importância de um guia metodológico que contenha os parâmetros e indicadores relevantes para uma decisão de reutilização. A partir da aplicação do guia, pretende-se que seja possível avaliar, logo na fase inicial do projeto, se a implementação de um programa de reutilização de água residual tratada numa determinada cidade é econômica, técnica, social e ambientalmente viável.

Estudar, portanto, as barreiras e potencialidades da reutilização urbana de água residual tratada, desenvolvendo um guia metodológico, e um modelo, que possa apoiar os decisores políticos quanto a decisão de reutilização, destaca-se como uma investigação promissora, nomeadamente no campo da adaptação às alterações climáticas.

O objetivo geral da presente investigação é desenvolver um guia metodológico e um modelo para apoiar a decisão de reutilização de água residual tratada, contendo os indicadores e parâmetros relevantes para essa decisão.

O objetivo específico é aplicar o guia metodológico à cidade de Fortaleza, capital do Estado do Ceará, Brasil, de forma a identificar a viabilidade técnica, social, ambiental e econômica da reutilização de água residual tratada nessa cidade.

O objeto de estudo do presente projeto é a reutilização de água residual tratada em meio urbano, identificando suas barreiras e potencialidades, e revelando os indicadores e parâmetros relevantes, de forma a produzir um guia de apoio à decisão de reutilização.

## 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A histórica variabilidade climática intrínseca ao clima semiárido do Nordeste foi, por muito tempo, tomada como fator de desvantagem regional, o que levou aos governos a realizarem planejamentos para tentar mudar essa situação. A construção de grandes barragens (açudes), de canais para interligação de bacias hidrográficas, a articulação dos comitês de bacias hidrográficas, o programa de construção de cisternas para captação de água pluvial e o forte arcabouço legal envolvendo a matéria ambiental são exemplos de como a região Nordeste do Brasil tem usado da ferramenta da adaptação para melhorar sua resiliência frente as características naturais adversas e a intensificação de tal realidade frente as mudanças climáticas, aproveitando os riscos e oportunidades inerentes.

Em relação aos riscos e oportunidades, de acordo com Nobre (2011), as atividades agrícolas de sequeiro sobre o semiárido, que em condições passadas já representavam uma incidência significativa de perda em virtude da variabilidade interanual do período chuvoso, num estado futuro de aquecimento global deverão tornar-se cada vez menos viáveis, até a total inviabilidade de culturas que dependam exclusivamente da ocorrência de chuvas.

Em um cenário de intensificação dos eventos de seca, parece que as ações tradicionais de adaptação adotadas pelos governos brasileiros precisam de atualização. É nesse contexto que a reutilização de água residual tratada tem ganhado destaque. A reutilização de efluente nas grandes cidades e regiões metropolitanas pode diminuir a necessidade de captação de água nos açudes que abastecem essas regiões, aumentando a disponibilidade de água para as regiões do interior do Estado, além de contribuir com o paisagismo, diminuição das ilhas de calor, aumento da produtividade agrícola e fornecimento de uma fonte alternativa de água para as indústrias.

É essencial usar os recursos hídricos atualmente existentes de forma mais eficiente (reduzindo vazamentos e gerenciando a demanda, por exemplo) e encontrar novas fontes de água. Embora haja outras alternativas como a dessalinização, uma das mais promissoras opções de suprimento de água é a reutilização de efluente tratado, especialmente em áreas urbanas onde a maioria da população mundial está concentrada (Duong & Saphores, 2015).

Os investimentos em reuso de águas residuais já está previsto na agenda 2030 do Brasil para atendimento aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, mas a realidade atual mostra que ainda são poucas as iniciativas decorrentes de políticas públicas para fomentar a reutilização de efluente como parte de estratégia

e instrumentos de saneamento ambiental e gestão sustentável de águas. A escassez hídrica em algumas regiões do país proporcionou algumas oportunidades para iniciativas isoladas para reutilização de águas pluviais, mas ainda há que se avançar na promoção da reciclagem segura de águas residuais domésticas, industriais e agrícolas (Grupo de Trabalho da Sociedade Civil, 2018; IPEA, 2018).

Pelo exposto até aqui, é inegável a importância e até mesmo a necessidade de investimentos em projetos de reutilização de água residual tratada, de forma a adaptar os territórios a realidade irrefutável da redução da disponibilidade hídrica, uma vez que a água é um recurso natural indispensável à sobrevivência humana e à maioria das atividades econômicas. Apesar dos vários casos de sucesso (Gondhalekar et al., 2019) e das tecnologias disponíveis, o percentual de uso de água residual tratada ainda é baixo em termos mundiais (11,6%).

As barreiras existentes para implementação de projetos de reutilização vão além de obstáculos técnicos, o que pode explicar o baixo percentual dessa prática. Sendo assim, são importantes as pesquisas científicas que investiguem as barreiras e potencialidades da reutilização de água residual tratada em determinado local, especialmente naqueles onde a escassez hídrica já é uma realidade, buscando oferecer um produto prático de aplicação expedita, que possa apoiar a decisão de implementação ou não do uso de água reciclada para finalidades compatíveis.

Um guia metodológico incluindo indicadores e parâmetros, e seus respectivos pesos, de forma a apresentar um quadro indicativo da viabilidade técnica, social, ambiental e econômica da reutilização numa cidade, apresenta-se como uma ferramenta de grande valia para ajudar o fortalecimento do uso dessa fonte alternativa de água.

**Figura 1** — Indicadores e Parâmetros do Guia Metodológico e do Modelo de Apoio à Decisão

INDICADORES		PARÂMETROS		PESO (0-100)
1	TÉCNICOS (T)	1.1	Complexidade da solução de tratamento e do transporte	
		1.2	Segurança e resiliência da solução	
		1.3	Facilidade e simplicidade da operação	
		1.4	Existência de legislação	
2	SOCIAIS (S)	2.1	Grau de aceitação	
		2.2	Grau de necessidade	
3	AMBIENTAIS (A)	3.1	Risco para a saúde pública	
		3.2	Consumo de energia	
		3.3	Impacto nos meios receptores	
4	ECONÔMICOS (E)	4.1	Investimento necessário	
		4.2	Encargos de operação e manutenção durante o período de exploração	
		4.3	Benefícios econômicos	

À cada um dos indicadores será atribuído um peso, variando de 0 a 100%. À cada um dos parâmetros será atribuído um peso que deve variar de 0 a 100. Tomando como exemplo o parâmetro 1.1, complexidade da solução de tratamento e do transporte, se a ETAR avaliada necessitar de acréscimo de etapas de tratamento e, conseqüentemente de elevados investimentos para deixá-la apta a produzir uma água nos padrões requeridos para uma determinada reutilização, e se ainda estiver muito distante do local do consumo, a pontuação desse parâmetro deve se aproximar de zero. Se o grau de aceitação (parâmetro 2.1), por exemplo, for elevado, o seu peso deve se aproximar de 100. Dentro do indicador ambiental, se o impacto no meio receptor for positivo, ou seja, se melhorar a sua qualidade pela interrupção do lançamento do efluente tratado no seu leito, o peso deve se aproximar de 100. Já se a implementação da reutilização a partir dessa ETAR demandar altos gastos energéticos (parâmetro 3.3), com bombeamento, por exemplo, o seu peso deve se aproximar de zero. Quanto aos indicadores econômicos, se for necessário alto investimento financeiro (parâmetro 4.3), por exemplo, o seu peso deve se aproximar de zero.

Após atribuído os pesos a cada um dos parâmetros, deve-se fazer a ponderação deles. Por exemplo, supondo que cada um dos parâmetros do indicador 1 tenha obtido um peso de 50. Como esse indicador possui 4 parâmetros, a soma

dos respectivos pesos corresponde a 200. Deve-se, portanto, dividir o resultado dessa soma pela quantidade de parâmetros, ou seja, por 4, o que corresponde a um valor de 50, referente a ponderação do indicador técnico. Esse procedimento deve ser feito com todos os parâmetros. Na sequência, deve-se multiplicar o peso de cada indicador pelo respectivo peso ponderado dos parâmetros correspondentes. Supondo que ao indicador 1 tenha sido atribuído um peso de 20%, ao indicador 2 um peso de 20%, ao indicador 3 um peso de 20% e ao indicador 4 um peso de 40%, o valor final deve ser obtido a partir da seguinte equação:  $(T \times 0,2) + (S \times 0,2) + (A \times 0,2) + (E \times 0,4)$ , onde "T" corresponde à ponderação dos parâmetros técnicos, "S" à ponderação dos parâmetros sociais, "A" à ponderação dos parâmetros ambientais e "E" à ponderação dos parâmetros econômicos. Quanto mais próximo de 100 for o resultado dessa equação, mais viável a reutilização de água residual tratada apresenta-se.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente projeto de investigação ainda está em fase inicial. Logo, ainda não há resultados a serem apresentados.

### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Espera-se por meio dessa pesquisa o desenvolvimento de um guia metodológico e de um modelo de apoio à decisão de reutilização de água residual tratada, além de obter importantes informações acerca das barreiras e potencialidades da reutilização de água residual tratada bem como a identificação dos indicadores e parâmetros relevantes para uma decisão de reutilização.

Com esse guia, espera-se fornecer à sociedade e, em especial aos decisores políticos, uma ferramenta para auxiliá-los na decisão de reutilização de água residual tratada, uma fonte alternativa de água que, quando comprovada a sua viabilidade, apresenta-se como uma ferramenta importante para a resiliência das cidades e adaptação às alterações climáticas.

Considerando a vasta literatura referente à reutilização de água residual tratada e às tecnologias de tratamento, o presente projeto almeja preencher algumas lacunas, nomeadamente no que se refere a uma ferramenta de auxílio à decisão de reutilização, a qual não se tem conhecimento que exista.

Quanto ao estudo de caso, pretende-se preencher algumas das lacunas identificadas por Caixeta (2010), nomeadamente sobre a verificação do grau de necessidade, a viabilidade técnica e econômica entre a adoção da prática da reutilização e a busca por aumentar a oferta de água bruta, uma vez que a CAGECE está licitando um projeto de dessalinização da água do mar para incrementar o abastecimento de água da capital do Estado, os ganhos ambientais em relação à melhoria da qualidade dos recursos hídricos com a adoção da reutilização, a viabilidade técnica e econômica da reutilização do esgoto de Fortaleza que é lançado no mar através do emissário submarino e o estudo da percepção da população quanto à reutilização de água residual tratada para as finalidades compatíveis.



## REFERÊNCIAS

Alberich, J. P., Mukhtarov, F., Dieperink, C., Driessen, P., & Broekman, A. (2018). Upscaling urban recycled water schemes: An analysis of the presence of required governance conditions in the city of Sabadell (Spain). **Water** (Switzerland), 11(1). <https://doi.org/10.3390/w11010011>

Allen, M. ., Dube, O. P., Solecki, W., Aragón-Durand, F., Cramer, W., Humphreys, S., Kainuma, M., Kala, J., Mahowald, N., Mulugetta, Y., Perez, R., M.Wairiu, & Zickfeld, K. (2018). Framing and Context. In V. Masson-Delmotte, H. P. Zhai, O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, & T. Waterfield (Eds.), **Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change**, (pp. 49–91). In Press.

Caixeta, C. E. T. (2010). **Avaliação do atual potencial de reúso de água no estado do Ceará e propostas para um sistema de gestão** (Tese de Doutorado). Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Fortaleza, CE, Brasil.

Duong, K., & Saphores, J.-D. M. (2015). Obstacles to wastewater reuse: an overview. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Water**, 2(3), 199–214. <https://doi.org/10.1002/wat2.1074>

Filippini, R. M. K., Possetti, G. R. C., Waiss, T. C. F., Amaral, K. J., & Franco, P. L. P. (2017). Perspectivas de redução de emissões de gases de efeito estufa no tratamento de esgoto no estado do Paraná até o ano de 2030. **29o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, VI(1), 1–7.

Gama, A., Guerreiro, A., Ferreira, F., Matos, J. S., & Morgado, P. (2019). **Plano Estratégico de Reutilização de Água da Cidade de Lisboa** (HIDRA (Ed.)). Águas do Tejo Atlântico.

Godinho, F. M. da S. (2015). **Redução do consumo energético e das emissões de gases com efeito de estufa no tratamento de águas residuais . Um roteiro de ação para entidades gestoras**. Tese de Doutorado. Instituto Superior Técnico/Universidade de Lisboa.

Gondhalekar, D., Al-azzawi, M., & Drewes, J. E. (2019). Urban Water Reclamation with Resource Recovery as a Cornerstone of Urban Climate Change Resilience. In W. L. Filho (Ed.), **Handbook of Climate Change Resilience** (Issue November, pp. 0–22). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-71025-9>

Grupo de Trabalho da Sociedade Civil. (2018). **Relatório Luz Da Agenda 2030**. [https://brasilnaagenda2030.files.wordpress.com/2018/07/relatorio-sicc81ntese\\_final\\_download.pdf](https://brasilnaagenda2030.files.wordpress.com/2018/07/relatorio-sicc81ntese_final_download.pdf)

Hidalgo, D., Irusta, R., Martinez, L., Fatta, D., & Papadopoulos, A. (2007). Development of a multi-function software decision support tool for the promotion of the safe reuse of treated urban wastewater. **Desalination**, 215(1-3), 90-103. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.09.028>

IPEA. (2018). **Agenda 2030 ODS-Metas Nacionais dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. [http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/180801\\_ods\\_metas\\_nac\\_dos\\_obj\\_de\\_desenv\\_susten\\_propos\\_de\\_adequa.pdf](http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/180801_ods_metas_nac_dos_obj_de_desenv_susten_propos_de_adequa.pdf)

Jiménez Cisneros, B. E., Oki, T., Arnell, N., Benito, J. G., Döl, P., Jiang, T., & Mwakalila, S. S. (2014). Freshwater resources. In C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, & L. L. White (Eds.), **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. 229-269). Cambridge University Press.

Marinho, L. E. D. O., Coraucci Filho, B., Roston, D. M., Stefanutti, R., & Tonetti, A. L. (2013). Evaluation of the productivity of irrigated eucalyptus grandis with reclaimed wastewater and effects on soil. **Water, Air, and Soil Pollution**, 225(1). <https://doi.org/10.1007/s11270-013-1830-8>

Narr, C. F., Singh, H., Mayer, P., Keeley, A., Faulkner, B., Beak, D., & Forshay, K. J. (2019). Quantifying the effects of surface conveyance of treated wastewater effluent on groundwater, surface water, and nutrient dynamics in a large river floodplain. **Ecological Engineering**, 129(February), 123-133. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.12.030>

Nobre, P. (2011). Mudanças climáticas e desertificação: os desafios para o Estado Brasileiro. In R. da C. C. Lima, A. de M. B. Cavalcante, & A. M. P. Marin (Eds.), **Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro** (pp. 25-36). Instituto Nacional do Semiárido - INSA.

Paulino, N., & Bezerra, R. (2018). Consumo deve chegar a 20 mil litros por segundo, diz estudo - Metro - Diário do Nordeste. **Diário Do Nordeste**. <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/editorias/metro/consumo-deve-chegar-a-20-mil-litros-por-segundo-diz-estudo-1.1943200>

Souza, M. C. O., & Corazza, R. I. (2017). **Do Protocolo Kyoto ao Acordo de Paris**: uma análise das mudanças no regime climático global a partir do estudo da evolução de perfis de emissões de gases de efeito estufa.

Desenvolvimento e Meio Ambiente, 42, 52–80. <https://doi.org/10.5380/dma.v42i0.51298>

Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tigno, M. M. B., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., & Midgley, P. M. (Eds.). (2013). IPCC 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. **Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.Summary>

UNRIC. (2016). Relatório da ONU mostra população mundial cada vez mais urbanizada, mais de metade vive em zonas urbanizadas ao que se podem juntar 2,5 mil milhões em 2050. **Centro Regional de Informações Das Nações Unidas**. <https://www.unric.org/pt/actualidade/31537-relatorio-da-onu-mostra-populacao-mundial-cada-vez-mais-urbanizada-mais-de-metade-vive-em-zonas-urbanizadas-ao-que-se-podem-juntar-25-mil-milhoes-em-2050>

# IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS PELAS DUPLICAÇÕES DE RODOVIAS: UM ESTUDO DE CASO NA DUPLICAÇÃO DO VIADUTO DA AVENIDA ALBERTO CRAVEIRO COM A BR 116

## ENVIRONMENTAL IMPACTS GENERATED BY DUPLICATIONS OF ROADS: A CASE STUDY IN THE DUPLICATION OF THE AVENIDA ALBERTO CRAVEIRO VIADUCT WITH BR 116

**Iusa Carolina Landim**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil  
*iusacarolina2@hotmail.com*

**Ingrid Capistrano Pinto Tavares**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil  
*ingryd@ifce.edu.br*

---

### RESUMO

O objetivo desse trabalho é analisar os impactos ambientais positivos e negativos ocasionados durante a duplicação do viaduto da Avenida Alberto Craveiro com a BR 116, através da averiguação do cumprimento das orientações do Plano de Controle Ambiental (PCA). Dessa forma, a metodologia utilizada nesse estudo dividiu-se em estudo documental e de campo, de caráter observacional e quantitativo. Foram realizadas visitas técnicas no local e elaborado um questionário para que a população que utiliza o viaduto pudesse mostrar seu pensamento sobre a obra, no total foram 81 participantes da pesquisa. Pode-se concluir que o estudo mostrou que existem, na maioria, impactos positivos e para os negativos foram descritas várias ações que seriam feitas durante e após a obra. Foram encontradas divergências entre o descrito no PCA e a situação em campo, alguns desses impactos também foram percebidos durante a obra pelo usuário que responderam a pesquisa.

**Palavras-chave:** Impactos Positivos. Impactos Negativo. Rodovias.

### ABSTRACT OR RESUMEN

The objective of this work is to analyze the positive and negative environmental impacts caused during the duplication of the viaduct of Avenida Alberto Craveiro with BR 116, through the verification of compliance with the guidelines of the Environmental Control Plan (PCA). Thus, the methodology used in this study was divided into a documentary and field study, of an observational and quantitative character. Technical visits were carried out on the site and a questionnaire was prepared so that the population using the viaduct could show their thoughts on the work, in total there were 81 participants in the research. It can be concluded that the study showed that there are, in the majority, positive impacts and for the negative, several actions were described that would be done during and after the work. Differences were found between what was described in the PCA and the situation in the field, some of these impacts were also perceived during the work by the user who answered the survey.

**Keywords:** Positive impacts. Negative impacts. Highways.

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, predomina-se o transporte rodoviário e isso gera uma grande dependência da utilização das estradas para a rápida movimentação de insumos e mercadorias impactando no funcionamento das empresas que precisam de insumos e assim como na exportação, causando impacto para economia do país. Muitas vezes, se a estrada possuir algum problema que interrompa esse processo, pode ocasionar uma perda de produtos perecíveis, prejudica também o funcionamento de empresas pois dependem dos materiais e peças para prosseguir com suas atividades, impactando também negativamente na exportação de produtos (ANDRADE, 2015).

Dados da Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2019) afirmam que nas rodovias existentes no Brasil possuem, aproximadamente, 1.720.700 km, deste total apenas 12,4% são pavimentadas, 78,5% não estão pavimentadas e 9,1% estão em planejamento. Dessa parcela pavimentada 69,4% são rodovias federais e estaduais que encontram algum tipo de deficiência em sua estrutura. Em relação as regiões do país, o Nordeste possui maior malha rodoviária federal pavimentada (31,2%). Além disso, dados comprovam que esta região possui as piores condições da malha rodoviária em todo o País, comprometendo todo o processo para desenvolver e possibilitar uma maior economia entre as demais regiões.

A Agência Internacional de Energia (2010) tem previsão de, em 2050 existir 60% de rodovias a mais do que já existia em 2010, representando um aumento de, no mínimo, 14 milhões de quilômetros de rodovias novas com pavimentações até o ano de 2030 e mais 11 milhões até 2050. Todas essas novas rodovias, de forma desenfreada, ocorrem mundialmente, devido ao aumento da demanda em vários setores, como no setor econômico e social das nações (LAURANCE, 2014).

Conforme Akashi (2011), os impactos são alterações causadas no espaço geográfico devido a intervenção das atividades humanas, podendo ocorrer no meio socioeconômico, como as mudanças nas atividades econômicas da região, emissões atmosféricas negativas e nas condições de emprego, no meio biótico com atropelamento de animais, redução da cobertura vegetal e poluição em ambientes aquáticos, e no meio físico causando modificação do solo, rebaixamento do lençol freático e assoreamentos de terrenos.

Dessa forma, este estudo busca também analisar o PCA (Plano de Controle Ambiental) da respectiva obra, verificando assim se este documento está sendo realmente executado pelos responsáveis da obra. Para isso, necessitou da obtenção de informações através de visitas técnicas e também de um questionário aplicado à população que utiliza este viaduto.

A obra em estudo da duplicação do viaduto do Makro se torna importante pelo fato de oferecer o acesso de veículos aos diversos pontos do município como o Aeroporto Internacional Pinto Martins, que teve seu início de expansão em 2018 com prazo de finalização em abril de 2020, estando atualmente com 92% da obra já realizada e resultará no aumento de demanda nessa região (DIÁRIO DO NORDESTE, 2019). O Governador do Estado do Ceará em uma entrevista para o Diário do Nordeste (2019) afirmou que os voos internacionais irão crescer de 8 a 50 voos, além de aumentar o crescimento da cidade, a oferta de empregos e da economia. Outro portanto relevante é que esse viaduto é muito utilizado para transportes de veículos de carga em direção ao Porto do Mucuripe. Além disso, fica próximo do Makro atacadista, da Arena Castelão, da Delegacia da Polícia Civil e vários postos de gasolina.

O objetivo principal desse estudo é analisar os impactos ambientais positivos e negativos ocasionados durante a duplicação do viaduto da Avenida Alberto Craveiro com a BR 116. No caso dos objetivos específicos temos: averiguar se o PCA está sendo cumprido em campo e se atende aos requisitos e normas exigidos para a elaboração desse documento; observar, através da análise de questionário, a opinião dos entrevistados sobre a obra e os impactos causados durante a obra e as expectativas para os impactos após a sua finalização; acompanhar através de visitas técnicas o andamento da obra e relacionar com as orientações descritas pelo PCA da obra, realizando uma análise crítica desse documento.

Vale ressaltar que esta obra está trazendo diversos impactos (positivos e negativos) durante a sua execução, tanto para a população que moram pelas redondezas, quanto para os que precisam se locomover por essa via. Por isso, observa-se a necessidade de avaliar os impactos trazidos nessa ampliação e analisar todas as medidas mitigadoras e compensatórias ditas e realizadas pelos órgãos responsáveis deste projeto.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Caracterização da Área de Estudo

O empreendimento em estudo está localizado no município de Fortaleza, na BR-116, Km 03, no viaduto que liga a Avenida Raul Barbosa no bairro Aerolândia com a Avenida Alberto Craveiro no bairro Dias Macedo.

A BR-116 é a principal rodovia brasileira, sendo também a maior rodovia totalmente pavimentada do país. É uma rodovia longitudinal que tem início na cidade de Fortaleza, no estado do Ceará e término na cidade de Jaguarão, no estado do Rio Grande do Sul, na fronteira com o Uruguai.

A obra avaliada foi da ampliação e implantação de um viaduto na Avenida Raul Barbosa com a BR-116 abrangendo os Bairros Dias Macedo, Aerolândia (SER IV) e Aeroporto (SER VI) faz parte do Plano de Melhoria de Infraestrutura do Município em Fortaleza.

## 2.2 Tipo de estudo e coleta de dados

Com o propositivo de alcançar os objetivos desse estudo dividiu-se em estudo documental e de campo, de caráter observacional e quantitativo.

A pesquisa documental foi realizada utilizando o PCA disponibilizado pelo gerente da duplicação do Viaduto. Esse documento além do conhecimento, serviu de base para avaliar se a respectiva obra estava seguindo as orientações descritas nele. O PCA será descrito no item 3.4.

A pesquisa de campo realizou-se através de visitas técnicas e de pesquisa de opinião dos usuários. Foram realizadas duas visitas técnicas que tinham como propósito conhecer o local e verificar se as ações descritas no PCA estão sendo implementadas. Para a pesquisa de opinião dos usuários foi elaborado um questionário que foi feito no Google Forms e a partir das respostas pode-se observar o posicionamento do grupo amostral acerca da ampliação e melhor analisar os vários impactos causados naquele território através da visão do usuário. Vale ressaltar que foi solicitado para responder apenas indivíduos que utilizavam aquele percurso para realizar algum tipo de atividade no seu dia-a-dia.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente neste capítulo será feita algumas observações e críticas encontradas durante a leitura do PCA. Após isso será realizado uma análise e discussão de todos os pontos relevantes encontrados durante as visitas técnicas, utilizando fotos e observações feitas durante esses dias de visita. Além disso será analisado os resultados da entrevista realizada via internet com pessoas que utilizam o local dessa obra para se locomover na cidade.

### 3.1 Observações do PCA

Nesse item será descrito todas as evidências encontradas após estudo do PCA da obra que serão destacas mais adiante.



Em relação a parte escrita do PCA, o Manual de instruções ambientais para obras rodoviárias (STR, 2000, p. 25) mostra os itens propostos como referência para o PCA, que são:

- Introdução (Objetivo e Justificativa);
- Caracterização e Localização do Empreendimento;
- Diagnóstico Ambiental Resumido da Área de Influência;
- Medidas Mitigadoras e Compensatórias;
- Prognóstico dos Impactos Ambientais;
- Projetos de Controle Ambiental Propostos;
- Cronograma Físico e Financeiro;
- Indicação dos Responsáveis pela execução e operação dos projetos;
- Plano de Monitoramento (Quando For Necessário).

Dessa forma, isso mostra que a maioria dos itens estavam descritos no PCA da obra pesquisada, sendo que apenas um item não foi encontrado com mais detalhes que foi o Cronograma físico e financeiro, isso será destacado mais à frente.

A introdução com os objetivos e a justificativa para a execução dessa obra no PCA foram bem descritos. Além disso, a caracterização e a localização do empreendimento foram bem explicadas como também foi relatada todos os estudos realizados para o diagnóstico da área de influência da obra.

No diagnósticos dos principais impactos dessa obra os resultados mostraram que dos 33 impactos ambientais identificados ou previsíveis para a área de influência funcional do empreendimento, 20 são impactos de caráter benéfico e 13 são impactos de caráter adverso, correspondendo a 60,60% e 39,39%, respectivamente, como se pode ver no Quadro 1 abaixo.



**Tabela 1** — Principais impactos analisados no Checklist

MEIOS	Nº	IMPACTOS	TIPO
Físico	1	Instalação do Canteiro de Obras	Negativo
	2	Aumento de material particulado, resíduos e de gases	Negativo
	3	Aumento do nível de ruídos	Negativo
	4	Alteração da qualidade das águas superficiais e subterrâneas	Negativo
	5	Deposição de material de descarte	Negativo
	6	Aquisição de serviços especializados	Positivo
	7	Levantamento das potencialidades ambientais da área	Positivo
	8	Controle de erosão nas vias de circulação	Positivo
	9	Obras de Drenagem	Positivo
	10	Estudos Geotécnicos	Positivo
	11	Levantamento Topográfico	Positivo
	12	Projeto Urbanístico Básico	Positivo
	13	Definição do uso e ocupação do solo	Positivo
	14	Reconhecimento da morfologia local	Positivo
	15	Melhoria das condições de infraestrutura pública	Positivo
Biótico	16	Supressão da vegetação nativa	Negativo
	17	Afugentamento de fauna	Negativo
	18	Empobrecimento da paisagem	Negativo
Social	19	Aumento da oferta por postos de trabalho	Positivo
	20	Aumento da renda local e das arrecadações públicas	Positivo
	21	Facilidade de escoamento da produção	Positivo
	22	Especulação imobiliária	Positivo
	23	Aumento da demanda por bens e serviços	Positivo
	24	Melhoria de acessos	Positivo
	25	Introdução de tensões e conflitos sociais (desapropriações)	Negativo
	26	Interferência no cotidiano da população	Negativo
	27	Alteração no quadro demográfico	Negativo
	28	Alteração no nível atual e na tendência de evolução da taxa	Positivo
	29	Possibilidades de acidentes com cargas perigosas	Negativo
	30	Aumento do tráfego de veículos e máquinas	Negativo
	31	Redução do consumo de combustível	Positivo
	32	Otimização das condições de infraestrutura básica da área	Positivo
	33	Aquisição de materiais de construção civil	Positivo

**Fonte:** Adaptado do PCA (2017).

Os autores citaram três principais impactos que causariam maiores mudanças ambientais, sejam elas positivas ou negativas durante a obra, quais sejam: a instalação do canteiro de obras, a supressão de vegetação, e o meio socioeconômico. No caso das medidas mitigadoras para os impactos negativos foram descritos os seguintes pontos no PCA (2017, p. 69-71):

- Fiscalização e controle ambiental no local do canteiro de obras quanto à contaminação do solo, recursos hídricos, poluição do ar e sonora;
- Fiscalização e regulação de máquinas e veículos, cobertura de caminhões e aspersão;

- Controle ambiental da supressão vegetal na obra;
- Plantio de novas mudas nos passeios as vias. Essas medidas estão previstas no projeto de Paisagismo;
- Adoção de medidas de controle e sinalização específica;
- Compatibilização das obras com os horários de menor interferência e danos para a população;
- Controle ambiental das obras, regulagem de máquinas e veículos.

Ao analisar o PCA deste estudo não foi encontrado o capítulo 7 que deveria relatar sobre o Cronograma Físico e Financeiro para a implementação de cada etapa, muito importante para ter uma melhor organização e um planejamento de execução de cada etapa. No sumário eles citam o capítulo do cronograma, descrevem apenas que será feito pela SEINF (Secretaria Municipal de Infraestrutura) e que terá início e fim no segundo semestre de 2017 (iniciando em agosto e concluindo em outubro). Isso mostra que a obra encontra-se atrasada em relação ao proposto no PCA, onde este atraso provoca o aumento dos impactos negativos relacionado a canteiro, rotas alternativas, desconforto de engarrafamento ao usuário, dentre outros. Além disso no mesmo parágrafo cita que todo o cronograma estava exposto no anexo do PCA, porém ele não possui nenhum anexo.

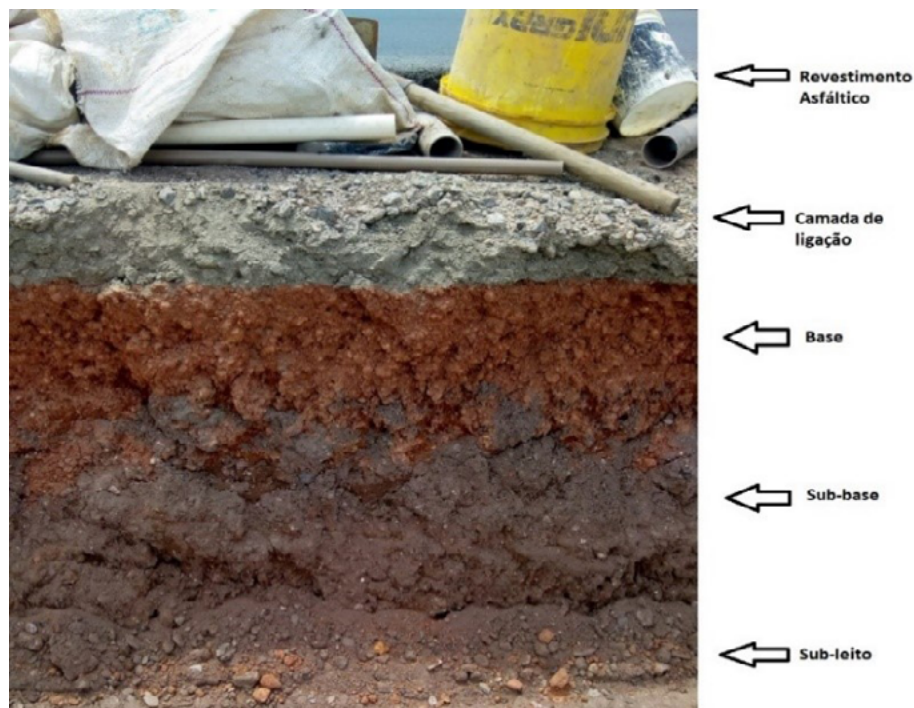
Em relação aos técnicos responsáveis por esse PCA temos um Geólogo, um Engenheiro Agrônomo, uma Geógrafa e um Engenheiro Civil. Dessa forma, atendeu ao requisito básico para a Equipe mínima de pelo menos três técnicos de nível superior, com áreas de atuação diferente.

### **3.2 Observações encontradas na visita**

Foi realizada pela aluna pesquisadora duas visitas a obra em estudo e durante a visita técnica teve como acompanhamento o técnico e engenheiro responsável pelo empreendimento que mostrou de forma detalhada cada atividade que estava sendo realizada como também as atividades que iriam iniciar.

Foi observado durante a visita que as camadas da estrutura do pavimento atendiam ao projeto de pavimentação descrito no PCA, pois em um local mostrado pelo Técnico pode-se verificar as cinco camadas diferentes que serão indicadas na Figura 1.

**Figura 1** — Camadas para a estrutura do pavimento



**Fonte:** Autoria própria (2020).

No caso de impactos verificados em campo, foram observados a geração de resíduos deixados à beira da rodovia, causando um impacto visual à população e afetando a fauna local com a poluição o solo, também indicado na Figura 1 acima.

Outro ponto importante notado foi a análise do sistema de drenagem, mostrando que está sendo feita de maneira inadequada, já que foi visto vários locais com processos erosivos e águas empoçadas sem um local correto para o seu escoamento, como pode ser vista na Figura 2.

**Figura 2**— Águas empoçadas em canteiros durante a obra



**Fonte:** Autoria própria (2020)

Outra observação realizada foi em relação ao tráfego de veículos e pedestres, apresentada na Figura 3. Foi visto um grande congestionamento de carros e ônibus durante um tempo longo, comprometendo, assim, o tempo de deslocamento da população que precisa passar todo dia por aquele trecho para realizar suas atividades diárias.

Na visita não foi observado a utilização de segurança do tráfego de veículos e pedestres, pois em todos os locais da obra foi visto apenas barreiras com gelo baiano e tela vermelha apenas para separar o local de execução da obra do tráfego de veículos. A Figura 3 também evidência mais dois problemas: primeiro seria uma retroescavadeira em trânsito muito próximo aos veículos, sem nenhuma sinalização de risco e sem barreira de separação. A segunda observação é um indivíduo andando de bicicleta por cima do asfalto já finalizado, porém ainda não tinha sido liberado para o acesso a ela, isso mostra que os ciclistas ou não receberam as informações corretas para o uso da via ou não possuía uma rota alternativa para ele utilizar durante a obra.



**Figura 3** — Tráfego de veículos durante a obra



**Fonte:** Autoria própria (2020)

Devido à falta de sinalizações e a segurança durante o caminho da obra, no dia da visita técnica ocorreu um acidente que causou impacto de trafego dos veículos presentes no local, confirmando a importância da segurança viária durante as obras solicitadas inclusive no PCA.

Em relação as placas encontradas no local da obra, era prevista a colocação de uma placa referente ao licenciamento ambiental do empreendimento, na entrada da área do canteiro de obras, sendo ela fixada conforme a placa modelo padrão da SEUMA (Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente) e colocada em um local de boa visibilidade. Além disso, também previa uma placa de identificação do empreendimento e do empreendedor, com os seus registros do CREA-CE e a Prefeitura Municipal de Fortaleza. Essas placas deveriam conter informações como: nome do empreendimento, nome do empreendedor, extensão da área ocupada, data do início das obras, data prevista para conclusão das obras e o alvará da prefeitura de Fortaleza.

Na visita encontrou-se três placas, porém não foi encontrada a placa que indicava o licenciamento ambiental como é obrigatório a sua existência. No local existia apenas identificando o empreendimento e o empreendedor. Além disso faltou uma placa a informação da “extensão da área ocupada” que também não foi localizada nestas placas existentes no local, como pode vista na Figura 4.

**Figura 4** — Placas encontradas no local da obra



**Fonte:** Autoria própria (2020)

### 3.3 Visão dos participantes da pesquisa sobre a obra

O questionário foi elaborado e o link de acesso foi divulgado através do WhatsApp para pessoas que utilizam a rodovia e o viaduto durante o seu dia para a realização de alguma atividade, no total foram 81 pessoas que aceitaram responder o questionário.

Vale ressaltar que no início desse estudo pensou-se em realizar essa entrevista com as pessoas que moravam na vizinhança da obra, para compreendermos melhor sobre os impactos causados para essa população, porém por conta da pandemia necessitou-se utilizar outro meio (tecnologia) para obter os resultados.

#### 3.3.1 Perfil dos entrevistados

O primeiro quesito perguntou-se o gênero da população pesquisada, um total de 81 pessoas responderam ao questionário, em que 63% eram homens e 37% eram mulheres.

O segundo quesito perguntou-se em relação ao destino de deslocamento, 67,9% dos entrevistados assinalaram a opção que era apenas para o trabalho, 9,9% apenas para casa, 8,6% para escola ou faculdade, 2,5% para Trabalho, faculdade e lazer, o restante citou outros locais como 1,2% para shopping, 1,2% para praia, 1,2% para casa de parentes e 1,2% para aeroporto. Quando indagou com qual frequência eles passavam pela avenida, 71,6% marcou a opção diariamente, em segundo lugar com 16% ficou a opção quinzenalmente e 9,9% assinalou mensalmente e 2,5% que quase nunca.

Fica evidente que a rodovia se torna um meio muito importante para o fluxo urbano e se ela não tiver de boa qualidade pode ocasionar uma dificuldade aos deslocamentos intra e interurbanos. A população da cidade passa a utilizar as rodovias diariamente para realizarem suas atividades e caso essa rodovia esteja em mal estado aumentam os riscos associados à acidentes e reduz o conforto dos usuários.

A quarta pergunta foi sobre o modo deslocamento, esta ficou dividida nas opções: 79,4% de carro; 14,1% de moto; 5,1% de ônibus e apenas 1,3% assinalou de caminhão.

### 3.3.2 Perguntas referente à obra

Uma outra pergunta indagada seria se após a conclusão da obra de ampliação do viaduto, os entrevistados considerariam que haverá melhora no tráfego da região, pois 98,8% assinalaram sim e 1,2% não.

De acordo com a opinião dos entrevistados os principais impactos que podem gerar durante a execução da obra de ampliação do viaduto, foram: 60,5% a geração de tráfego (impacto negativo), 43,2% a valorização imobiliária (impacto positivo), 39,5% os impactos ambientais (impacto negativo), 38,3% as mudanças no equipamentos urbanos (impacto negativo), 25,9% assinalou adensamento populacional (atração de novos moradores, maior movimentação e fluxo de pessoas, 19,8% marcou o meio biótico (as plantas e os animais), 14,8% o uso e ocupação do solo (terrenos que atraem novos empreendimentos) e, por último, 7,4% a desvalorização imobiliária. Vale ressaltar que nessa questão podiam marcar mais de uma opção.

Dessa forma, os impactos negativos encontrados (a geração de tráfego, impactos ambientais, as mudanças nos equipamentos urbanos, adensamento populacional) precisam ser realmente minimizados ou erradicados aplicando medidas de controle ambiental para que não afetem o ambiente natural ao redor e a população que utiliza desta rodovia para se locomover.

A pergunta quatro perguntou se durante a obra, eles consideravam seguro o tráfego da via. 75,3% dos entrevistados responderam que não e o restante, 24,7% afirmaram que sim.

Esse quesito confirma na visão dos entrevistados o que foi observado nas visitas técnicas, pois considerou-se que não estava sendo um tráfego seguro para as motoristas e pedestres que precisam utilizar aquela rota.

Próximo questionamento foi para os participantes da pesquisa indicar o grau em que se sentem informado(a)s sobre as alterações relacionadas ao tráfego local da obra. Os resultados mostraram que 43,2% responderam mais ou menos informados e 39,5% pouco informado, 9,9% responderam que não foram informados e 7,4% que foram muito informados. Dessa forma, fica evidente que essa falta de informação está totalmente relacionada a falta de sinalização encontradas durante a visita.

Os resultados acima mostram que muitas pessoas não foram bem informadas durante a obra e as possíveis mudanças de trajeto que ocorreram durante a intervenção. Isso fica evidente que algumas das ações que iriam fazer no início da obra não foram realizados com sucesso, como por exemplo: sobre a segurança e alerta aos transeuntes e população da redondeza sobre implantação da obra no viaduto, mostrando onde circularão veículos pesados da obra, as modificações e as orientações de segurança no trânsito local.

Quanto as sinalizações da obra, indagou se eles consideravam claras e de fácil visualização. A maioria 69,1% respondeu que não e 30,9% sim.

Concordando com a pergunta anterior, a próxima indagou em relação às sinalizações, os entrevistados afirmaram não estar em um local de boa visibilidade e, em alguns casos, não conseguem compreender o que está escrito. Este ponto torna-se relevante e corrobora com as observações durante as visitas técnicas. No PCA foi descrito era que as placas iriam ser fixadas em um local de boa visibilidade e com informações importantes.

No ponto de vista dos participantes da pesquisa o quesito execução da obra está sendo feita de forma lenta para 77,5% e 20% acham que está no prazo, sendo que apenas 2,5% concordam que está sendo feita rapidamente.

Com base nos dados analisados acima percebe-se que há uma insatisfação da população em relação ao tempo de execução da obra. Espera-se que os benefícios obtidos pela implantação da obra tragam o contentamento suficiente, como foi proposto no PCA da obra. Entende-se que no atual cenário de pandemia que se encontra o Estado, pode-se compreender um pouco esta demora nas obras públicas.



O próximo quesito indagou se a rota diária sofreu alguma alteração, 87,7% responderam que sim e apenas 12,3% assinalaram que não afetou sua rota.

Esses dados comprovam que muitos motoristas e pedestres precisaram mudar sua rota pelo fato da demora e diminuição da via de acesso, o que dificultou muito a utilização da sua rota diária e a necessidade de alterá-la para minimizar o tempo de rota, mesmo tendo que aumentar a distância percorrida.

O questionário perguntou também em relação aos prejuízos adquiridos devido à obra de ampliação do viaduto. Vale lembrar que nessa questão os entrevistados podiam responder várias opções. As respostas ficaram divididas em vários itens: 38,8% responderam atrasos relacionados ao trabalho e/ou escolas/faculdade, 67,5% o aumento do consumo de gasolina, 51,2% a manutenção automotiva, 7,5% afirmaram que não tiveram prejuízos e 3,8% ressaltou o aumento nos gastos relacionados ao transporte coletivo.

Contrário aos impactos que serão obtidos após a ampliação, os prejuízos mais significantes adquiridos durante a obra foram impactos negativos, o principal item marcado foi o atraso para chegar ao trabalho e escolas/faculdades, como também o aumento do consumo de gasolina pelo fato da mudança de rota e aumento no percurso.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista o rápido crescimento veicular que utiliza o viaduto estudado, torna-se evidente a necessidade da realização do melhoramento rodoviário deste local. Os principais problemas encontrados na região estudada e relatada no PCA (2017) da obra são os congestionamentos e os alagamentos, como também o alto índice de acidentes.

A obra estudada quando for concluída trará uma maior capacidade viária, nova drenagem e vários outros pontos relevantes como nova iluminação e uma infraestrutura cicloviária. Esses itens corroboram com as melhorias propostas em projeto e descritas no PCA.

Em relação ao PCA encontrou-se vários itens relatados na teoria que eram para estarem sendo realizados na prática, como por exemplo águas empossadas em canteiros durante a obra, congestionamento de veículos, ciclistas utilizando uma rota de forma incorreta, falta de sinalizações e a segurança durante o caminho da obra, como por exemplo a retroescavadeira em trânsito muito próximo aos veículos, sem nenhuma sinalização de risco e sem barreira de separação, dentre outros que foram

vistos na visita que estavam sendo realizados de forma incorreta, sem o mínimo de segurança. No caso do documento RIMA verificou-se que o mesmo não foi realizado por ser utilizados apenas para intervenções que causam grandes impactos ambientais.

Mesmo com os impactos positivos após a conclusão da ampliação e construção do viaduto da BR-116, percebe-se a necessidade de controlar as futuras implicações dos impactos negativos trazidos durante e após esta obra. O estudo mostrou que existem, na maioria, impactos positivos e para os negativos foram descritos várias ações que seriam feitas durante e após a obra. Durante as visitas realizada, pode-se afirmar que as ações realizadas como controle mitigatório foram pouco realizadas. Como a obra ainda não foi concluída não é possível realizar uma crítica maior da situação pós obra. Em relação ao questionário, o grupo que participou da pesquisa ressaltou em sua maioria que também não estavam vendo ações para minimizar os prejuízos devido à obra.

Portanto, os resultados encontrados através das visitas técnicas e do questionário quando relacionados com o PCA da obra foram importantes para avaliar os impactos e a segurança da ampliação do viaduto da BR-116.

Algumas ações planejadas no início desse trabalho não puderam ser realizadas pelo motivo da pandemia devido ao COVID-19, como, por exemplo, mais visitas ao local da obra, entrevistas com os responsáveis e com a população da vizinhança, dessa forma fica como sugestão para os trabalhos futuros.

## REFERÊNCIAS

AKASHI, S. H. M. **Plano de Controle Ambiental**: Trecho da Rodovia RJ-122. Dissertação. Especialização em Economia Ambiental da Universidade Federal do Paraná, 2011.

ANDRADE, N. Com a greve dos caminhoneiros preços de frutas dobram em São Paulo. **Folha de São Paulo**. 25 fev 2015. Disponível <<http://www1.folha.uol.com.br/mercado/2015/02/1594613-com-greve-de-caminhoneiros-precos-de-chuchu-e-tomate-dobram-em-sp>>. Acesso em 31 Jan. 2020.

CNT, Confederação Nacional dos Transportes. **Pesquisa CNT de rodovias 2019**. – Brasília: CNT: SEST SENAT, 2019.

DIÁRIO DO NORDESTE. **Aeroporto Internacional Pinto Martins, que teve seu início de expansão em 2018 com prazo de finalização em abril de 2020, estando atualmente com 92% da obra**. 2019, Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/negocios/aeroporto-tem-92-de-obras-concluidas-veja-imagens-da-ampliacao-do-terminal-1.2161789>. Acesso em: 15 de Jun. 2020.

LAURANCE, B. Global 'roadmap' shows where to put roads without costing the earth. **The Conversation**. Ago. 2014. Disponível em: <<http://theconversation.com>>. Acesso em: 03 abr. 2020.

PCA, Plano de Controle Ambiental. **Implantação de novo Viaduto na Av. Raul Barbosa com Rodovia BR-116**. Fortaleza, 2017.

STR, Secretaria de Estado dos Transportes. **Manual de Instruções ambientais para Obras Rodoviárias**. 2000. Disponível em: [http://www.der.pr.gov.br/arquivos/File/Meio\\_Ambiente/Publicacoes/Manual\\_de\\_Instrucoes\\_Ambientais\\_para\\_Obras\\_Rodoviaras.pdf](http://www.der.pr.gov.br/arquivos/File/Meio_Ambiente/Publicacoes/Manual_de_Instrucoes_Ambientais_para_Obras_Rodoviaras.pdf). Acesso em: 10 Jun. 2020.

# DETECÇÃO DE BARULHO PARA AMBIENTES DE ESTUDO

## NOISE DETECTION FOR STUDY ENVIRONMENTS

**Paulo Henrique de Sousa Melo**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil

*paulo.melo08@aluno.ifce.edu.br*

**Antonio Deivid Santos Costa**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil

*antonio.deivid.santos08@aluno.ifce.edu.br*

**Gabriel Tavares de Melo Freitas**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil

*gabriel.tavares@ifce.edu.br*

**Kelvia Aragão Fragoso**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil

*kelvia.fragoso@ifce.edu.br*

---

### RESUMO

O objetivo deste artigo é demonstrar o desenvolvimento um aparelho de detecção de ruídos para aplicação em ambientes de estudo, com foco em salas de aula e bibliotecas. Ambientes de estudo necessitam de um nível de silêncio adequado para concentração e aprendizado. Portanto, neste trabalho, foi criado um protótipo capaz de captar o sinal sonoro no ambiente e sinalizar o nível de ruídos em forma de LEDs. Quando excedido o valor limiar de barulho, é ativado um alerta luminoso de modo que as pessoas que estão presentes no ambiente serão capazes de identificar a mensagem visual. As informações serão enviadas para um servidor, com o intuito de armazenar, centralizar e exibir os dados na tela para o usuário. Este projeto visa monitorar o ruído, a fim de conscientizar as pessoas, de modo auto-educativo, evitando problemas maiores ou dispêndio de pessoal para tal tarefa.

**Palavras-chave:** Arduino. Controle de barulho. Detector

### ABSTRACT OR RESUMEN

The purpose of this article is to demonstrate the development of a noise detection device for application in study environments, with a focus on classrooms and libraries. Study environments need an adequate level of silence for concentration and learning. Therefore, in this work, a prototype was created capable of capturing the sound signal in the environment, signaling the noise level in the form of LEDs. When the noise threshold value is exceeded, a light alert is activated so that people who are present in the environment will be able to identify the visual message. The information will be sent to a server, in order to store, centralize and display the data on the screen to the user. This project aims to monitor noise, in order to make people aware in a self-educational way, avoiding major problems or staff expenditure for such a task.

**Keywords:** Arduino. Noise control. Sound noise detector.

## 1. INTRODUÇÃO

O silêncio imposto pela escola é um ato disciplinador e um dos instrumentos que o professor tem ao seu alcance para obter o controle sobre os alunos, fazendo com que a sala de aula tenha ordem e que o aprendizado seja mais eficaz (ALMEIDA FILHO, 2012).

O objetivo deste trabalho é desenvolver um aparelho de detecção de ruídos para aplicação em ambientes de estudo (COLITO, 2008). Esta proposta tem como objetivo criar um protótipo capaz de captar o sinal sonoro no ambiente e sinalizar o nível de ruídos em forma de LEDs. Quando excedido o valor limiar de barulho, é ativado um alerta luminoso de modo que as pessoas que estão presentes no ambiente serão capazes de identificar a mensagem visual. Além disso, as informações serão enviadas para um servidor em nuvem, onde o histórico dos dados serão mantidos.

## 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A automação de ambientes de estudo se torna acessível dada a quantidade de ferramentas e sensores disponíveis e ao seu baixo custo. Com o uso de um microfone, para captar o sinal sonoro, um semáforo de LEDs, uma módulo Ethernet e uma placa Arduino é possível criar um sistema embarcado capaz de detectar o nível de barulho de um ambiente. Associado a um servidor de banco de dados e um servidor web, as informações geradas pelo sistema embarcado podem não apenas facilitar o processo, mas ampliar o alcance da informação.

### 2.1. Arduino

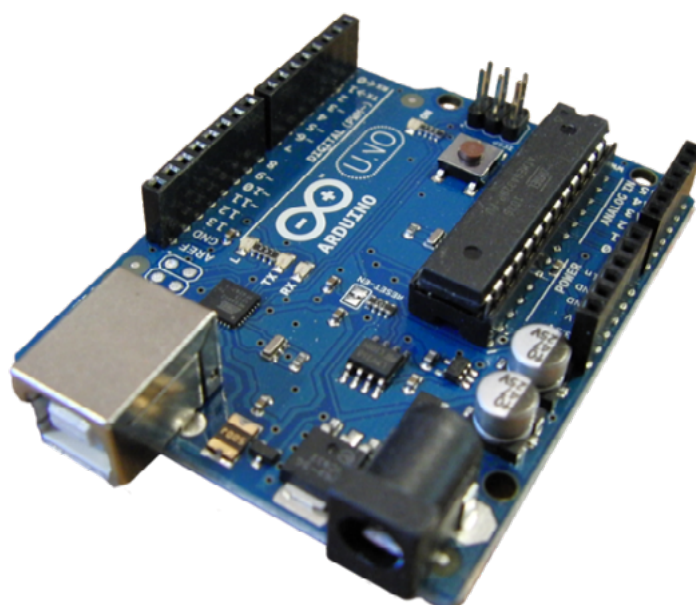
O Arduino surgiu no Ivrea Interaction Design Institute como uma ferramenta destinada a estudantes sem experiência em eletrônica e programação. É uma ferramenta de prototipagem open source (código aberto), podendo ser adaptada às necessidades de quem utilizar. O software utilizado para programar o Arduino também é open source, muito semelhante aos comandos utilizados na linguagem de programação C (ARDUINO, 2016).

Com o Arduino®, é possível programar processos de entradas e saídas nos dispositivos que estão conectados nele. Ele é um sistema embarcado, ou seja, permite a interação de software e hardware ao ambiente com objetivo predefinido. Pode ser utilizado para desenvolver objetos interativos, assim como pode ser conectado no computador, na rede, internet e agir sobre eles. Além disso, pode ser conectado a qualquer dispositivo que envie, receba dados e que possa ser controlado (MCROBERTS, 2011).

A linguagem de programação utilizada para fazer o Arduino interagir com os componentes é baseada na linguagem C. Utiliza-se uma interface IDE, que é um software livre, para escrever o código ou sketches e fazer o upload da rotina pronta para o módulo Arduino®. Depois de realizado o upload, o dispositivo Arduino executa este código e envia instruções aos dispositivos que estão conectados. A interface IDE é compatível com quase todos os sistemas operacionais existentes (MCROBERTS, 2011). A simplicidade da interface e sua modularidade para diferentes aplicações permitem o desenvolvimento de praticamente qualquer interface de automação de processos com baixo custo.

O Arduino Uno, como mostrado na Figura 1, é um módulo baseado no microcontrolador ATmega328P, que possui um bootloader para permitir o envio de novos códigos de modo simples. Ele possui 14 pinos digitais de entrada e saída, 6 entradas analógicas, uma porta USB, tomada de energia e tomada de reset. Para usá-lo, basta conectá-lo a um computador ou fonte de energia, sendo possível a troca do chip em caso de defeito (ARDUINO, 2016).

**Figura 1** — Arduino Uno



**Fonte:** Wikipedia (2020)

## 2.2 Servidor Web

Um servidor web é um computador que hospeda um ou mais sites. “Hospedagem” significa que todas as páginas da web e seus arquivos de suporte estão disponíveis neste servidor remoto, sendo que este, por sua vez, envia qualquer página do site que está hospedado para o navegador de acesso ao servidor, por solicitação do próprio usuário (MOZILLA, 2016).

Quando um site da internet é acessado pelo navegador do usuário, é realizada uma troca de informações entre o navegador e o servidor. Essa troca utiliza um protocolo que é chamado de HTTP (HyperText Transfer Protocol). O objetivo desse protocolo é mostrar o conteúdo do servidor web nos navegadores dos usuários de forma padronizada (HOAG, 2002).

## 2.3 Banco de Dados

Segundo Silberschatz et al. (2006), um sistema de banco de dados consiste em uma coleção de dados inter-relacionados e conjuntos de programas, que permitem aos usuários acessar e modificar esses dados. Uma importante finalidade é fornecer uma visão abstrata dos dados, ou seja, o sistema não mostra detalhes de como os dados são armazenados e mantidos.

Os sistemas de banco de dados são projetados para gerenciar grandes blocos de dados. Envolve definir estruturas para armazenamento e fornecer mecanismos para manipular as informações. Além disso, precisa garantir a segurança das informações armazenadas, mesmo com falhas de sistema ou tentativas de acesso negado. Ao compartilhar os dados entre vários usuários, o sistema tem que evitar resultados anômalos (SILBERSCHATZ et al., 2006).

## 2.4 Firebase

O Firebase é uma plataforma digital utilizada para facilitar o desenvolvimento de aplicativos web ou móveis, de uma forma efetiva, rápida e simples. Graças às suas diversas funções, como mostrado na Figura 2, é utilizado como uma técnica de Marketing Digital, com a finalidade de aumentar a base de usuários e gerar maiores benefícios econômicos. Seu principal objetivo é melhorar o rendimento dos apps mediante a implementação de diversas funcionalidades que farão do aplicativo um instrumento muito mais maleável, seguro e de fácil acesso para os usuários.

**Figura 2** — Plataforma Firebase



**Fonte:** Firebase (2020)

## 2.5 A Linguagem HTML

A linguagem de marcação HTML (HyperText Markup Language) surgiu no final dos anos 80 e possui a capacidade de distinguir e separar o conteúdo de sua forma de apresentação, onde utiliza um conjunto predefinido de elementos para identificar os diversos tipos de conteúdo e realizar a otimização de apresentação para diferentes formatos. Esses elementos contêm uma ou mais tags que incluem ou expressam um determinado conteúdo (MOZILLA, 2014). As tags são caracteres especiais que informam como o conteúdo deverá ser exibido na tela do usuário (RAMALHO, 1996).

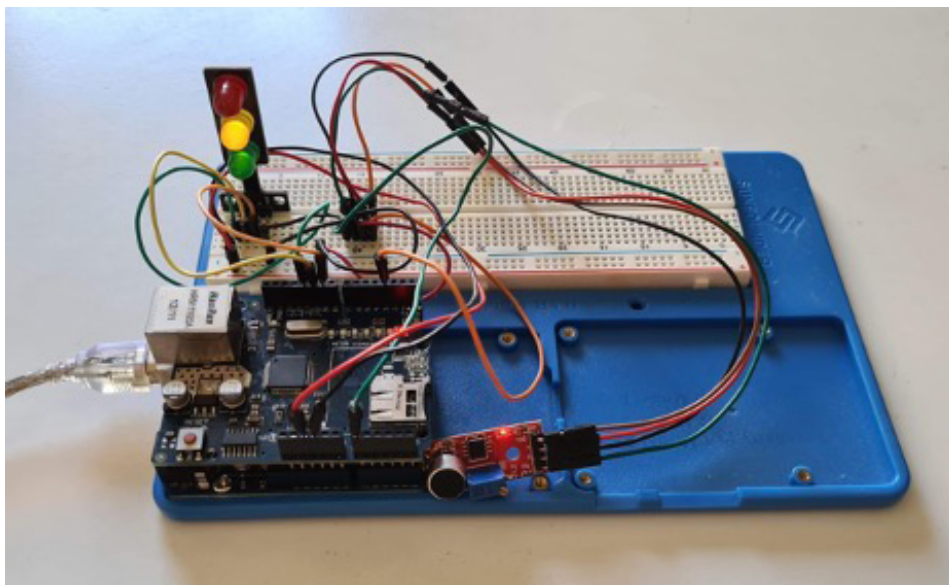
A última versão lançada foi o HTML5, que corrige vários problemas da versão anterior HTML4, como facilitar a manipulação do elemento possibilitando ao desenvolvedor modificar características dos objetos de maneira transparente para o usuário final. Esta atualização da linguagem também criou novas tags e modificou a função de outras já utilizadas. Essa nova versão também modificou a forma de escrever os códigos e organizar as informações na página, onde ficou mais interativa sem a necessidade da instalação de plugins, evitando a perda de desempenho. Embora seja novo e possua funcionalidades adicionais, o HTML5 está sendo desenvolvido para ser compatível com qualquer navegador, e nenhum site precisará ser refeito para se adequar à nova versão (W3C, 2010).



### 3. METODOLOGIA

Para implementação do sistema, foi utilizado o Arduino Uno. A escolha desta plataforma, ocorreu pela facilidade de uso e por sua acessibilidade, juntamente com seus sensores. Para montagem do hardware, foi utilizado um módulo microfone condensador elétrico, um semáforo, uma placa Ethernet Shield, uma protoboard e jumpers para conectar o circuito (Figura 3).

**Figura 3** — Sistema embarcado de detecção de ruído

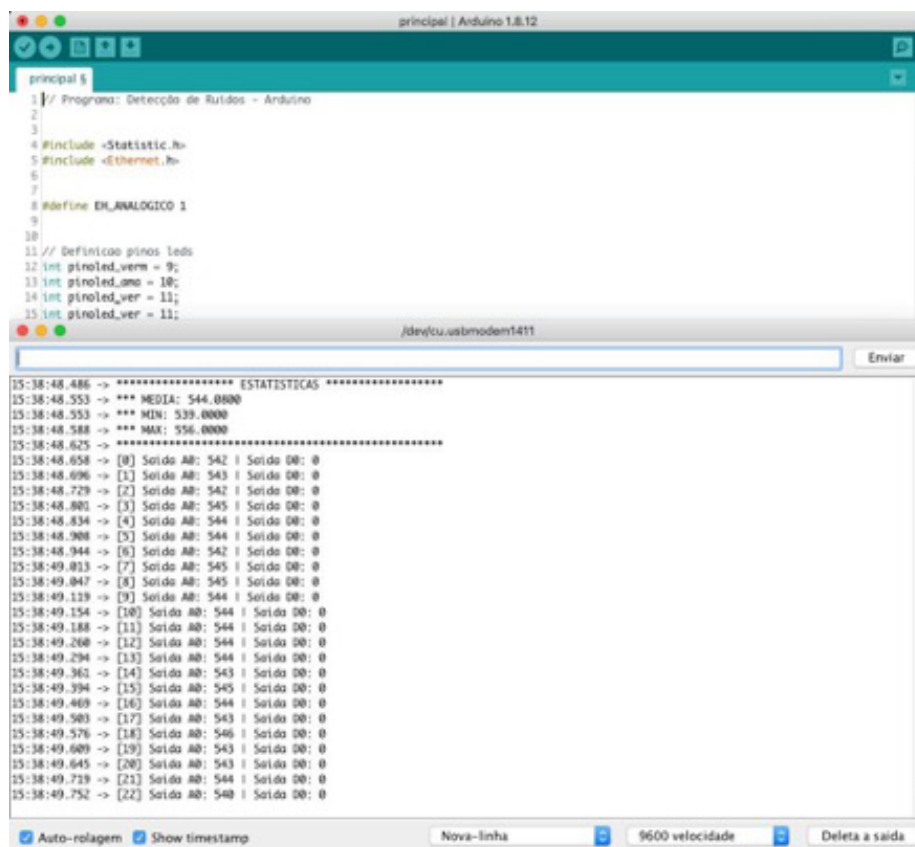


**Fonte:** Elaborada pelos autores (2020)

No desenvolvimento do firmware, foi realizado a captação do sinal do microfone de forma analógica, sendo conectado no pino A0 do Arduino. Com isso, já é possível visualizar no monitor serial um valor numérico conforme o barulho do ambiente. De forma empírica, foi definido arbitrariamente os limites para os quais se considera o ambiente sem barulho, pouco barulhento ou muito barulhento. Se a resposta do sensor for um valor inferior a 515, considera-se um ambiente sem barulho. Caso seja entre 515 e 525, foi considerado pouco barulho. Já se for maior que 525, é um ambiente de muito barulho. Vale ressaltar que a lógica de programação do semáforo foi implementada para acender conforme essas condições, de modo que verde representa um ambiente sem barulho, amarelo com pouco barulho e vermelho um ambiente bastante barulhento.

Vale enfatizar, que foi necessário implementar um algoritmo para melhorar a qualidade do sistema. Isso porque trabalhar com os valores obtidos diretamente do sensor traz bastante ruído, onde as cores do semáforo eram alternadas com uma frequência muito elevada. Portanto, para não comprometer a qualidade da informação final e trazer uma informação mais precisa, foi criado um buffer, representado por uma matriz de uma dimensão, que armazena cem saídas do microfone. Ao chegar nesse limite, é obtido o valor máximo desse buffer e o restante do processamento é feito a partir dele. Foi realizado um estudo através dos valores de máximo, mínimo e média, entretanto, o valor máximo representou melhor a realidade desse cenário (Figura 4).

**Figura 4** — Saída Serial do Firmware



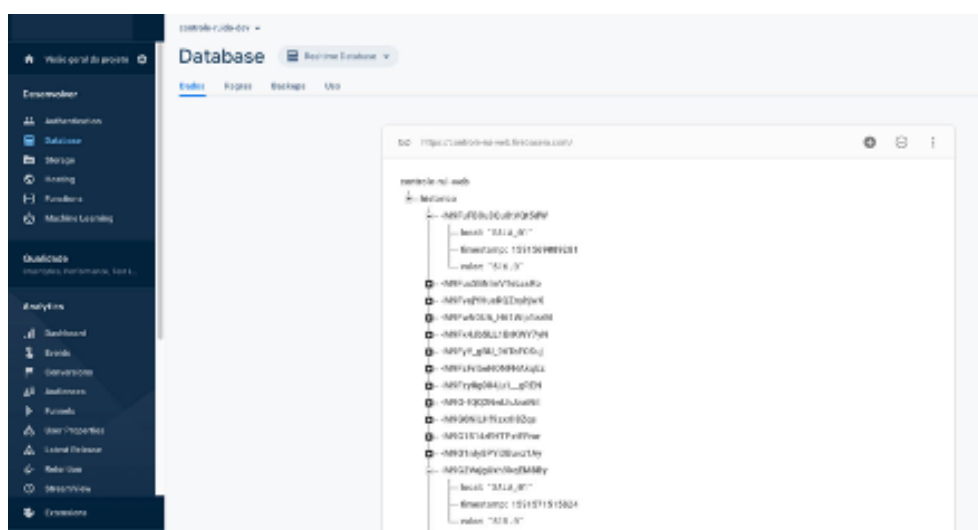
```

principal | Arduino 1.8.12
principal $
1 // Programa: Detecção de Ruídos - Arduino
2
3
4 #include <Statistic.h>
5 #include <Ethernet.h>
6
7
8 #define EH_ANALOGICO 1
9
10
11 // Definição pinos leds
12 int pinoled_verm = 9;
13 int pinoled_amo = 10;
14 int pinoled_ver = 11;
15 int pinoled_ver = 11;
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1097
1098
1099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1106
1107
1108
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1116
1117
1118
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1126
1127
1128
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1136
1137
1138
1139
1140
1141
1142
1143
1144
1145
1146
1147
1148
1149
1150
1151
1152
1153
1154
1155
1156
1157
1158
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1166
1167
1168
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177
1178
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1186
1187
1188
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1196
1197
1198
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1206
1207
1208
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1216
1217
1218
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1226
1227
1228
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1236
1237
1238
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1245
1246
1247
1248
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1255
1256
1257
1258
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1266
1267
1268
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1276
1277
1278
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1286
1287
1288
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1296
1297
1298
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1306
1307
1308
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1316
1317
1318
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1326
1327
1328
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1336
1337
1338
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1346
1347
1348
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1356
1357
1358
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366
1367
1368
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1386
1387
1388
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1396
1397
1398
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1406
1407
1408
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1416
1417
1418
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1426
1427
1428
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1436
1437
1438
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1446
1447
1448
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1456
1457
1458
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1466
1467
1468
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1476
1477
1478
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1488
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1496
1497
1498
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1506
1507
1508
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1556
1557
1558
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1566
1567
1568
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1578
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1586
1587
1588
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1596
1597
1598
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1606
1607
1608
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1616
1617
1618
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1626
1627
1628
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1636
1637
1638
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1646
1647
1648
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1656
1657
1658
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1666
1667
1668
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1676
1677
1678
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1698
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1706
1707
1708
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1716
1717
1718
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1726
1727
1728
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1736
1737
1738
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1746
1747
1748
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1798
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2179
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2189
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2198
2199
2200
2201
2202
2203
2204
2205
2206
2207
2208
2209
2210
2211
2212
2213
2214
2215
2216
2217
2218
2219
2220
2221
2222
2223
2224
2225
2226
2227
2228
2229
2230
2231
2232
2233
2234
2235
2236
2237
2238
2239
2240
2241
2242
2243
2244
2245
2246
2247
2248
2249
2250
2251
2252
2253
2254
2255
2256
2257
2258
2259
2260
2261
2262
2263
2264
2265
2266
2267
2268
2269
2270
2271
2272
2273
2274
2275
2276
2277
2278
2279
2280
2281
2282
2283
2284
2285
2286
2287
2288
2289
2290
2291
2292
2293
2294
2295
2296
2297
2298
2299
2300
2301
2302
2303
2304
2305
2306
2307
2308
2309
2310
2311
2312
2313
2314
2315
2316
2317
2318
2319
2320
2321
2322
2323
2324
2325
2326
2327
2328
2329
2330
2331
2332
2333
2334
2335
2336
2337
2338
2339
2340
2341
2342
2343
2344
2345
2346
2347
2348
2349
2350
2351
2352
2353
2354
2355
2356
2357
2358
2359
2360
2361
2362
2363
2364
2365
2366
2367
2368
2369
2370
2371
2372
2373
2374
2375
2376
2377
2378
2379
2380
2381
2382
2383
2384
2385
2386
2387
2388
2389
2390
2391
2392
2393
2394
2395
2396
2397
2398
2399
2400
2401
2402
2403
2404
2405
2406
2407
2408
2409
2410
2411
2412
2413
2414
2415
2416
2417
2418
2419
2420
2421
2422
2423
2424
2425
2426
2427
2428
2429
2430
2431
2432
2433
2434
2435
2436
2437
2438
2439
2440
2441
2442
2443
2444
2445
2446
2447
2448
2449
2450
2451
2452
2453
2454
2455
2456
2457
2458
2459
2460
2461
2462
2463
2464
2465
2466
2467
2468
2469
2470
2471
2472
2473
2474
2475
2476
2477
2478
2479
2480
2481
2482
2483
2484
2485
2486
2487
2488
2489
2490
2491
2492
2493
2494
2495
2496
2497
2498
2499
2500
2501
2502
2503
2504
2505
2506
2507
2508
2509
2510
2511
2512
2513
2514
2515
2516
2517
2518
2519
2520
2521
2522
2523
2524
2525
2526
2527
2528
2529
2530
2531
2532
2533
2534
2535
2536
2537
2538
2539
2540
2541
2542
2543
2544
2545
2546
2547
2548
2549
2550
2551
2552
2553
2554
2555
2556
2557
2558
2559
2560
2561
2562
2563
2564
2565
2566
2567
2568
2569
2570
2571
2572
2573
2574
2575
2576
2577
2578
2579
2580
2581
2582
2583
2584
2585
2586
2587
25
```

abrangendo o armazenamento das informações obtidas do Sistema Embarcado de Detecção de Ruído (Figura 3).

Juntamente com o valor, é salvo, também, o local, a data e hora. A variável local foi inserida nesse escopo já pensando em um futura expansão do atual protótipo, onde haja possibilidade de distribuir o sistema embarcado em diversas salas de uma organização. A data e hora, representada pela variável timestamp, é obtida do próprio servidor e é persistida no registro a fim de manter o histórico (Figura 5).

**Figura 5** — Servidor de banco de dados



**Fonte:** Elaborada pelos autores (2020)

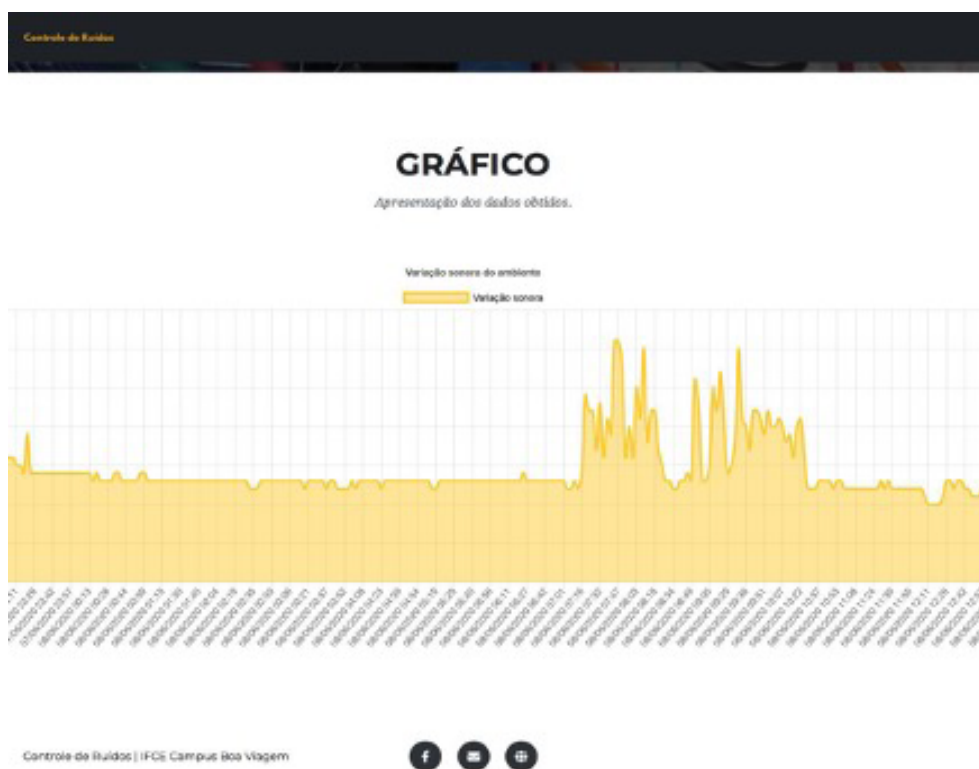
. Uma vez os dados registrados no banco de dados, foi desenvolvido uma página web para visualização dos dados (Figura 6). Esta página ler os dados persistidos no banco de dados Firebase e exibe as informações em formato de relatório e gráfico. Além disso, foi desenvolvida uma página inicial que realiza a documentação do sistema. O sistema pode ser acessado através deste endereço: <https://controle-ru-web.web.app>.

Na página de relatório, é exibido todo o histórico dos valores sonoros, juntamente com seu local e o momento do registro. Este histórico foi implementado utilizando recursos de experiência do usuário para facilitar a organização através de critérios de filtro e ordenação de dados. Já na página gráfico, foi utilizado um gráfico em linhas com o intuito de facilitar a visualização da informação, de modo que é possível ver de forma clara e objetiva os momentos de maior barulho.

Além das páginas de exibição de dados do sistema, foi criado uma página de apresentação contendo informações do projeto e dos envolvidos.

Ambas as páginas foram criadas utilizando HTML5, CSS e a linguagem Javascript, juntamente com o Bootstrap para auxiliar no processo de criação de interfaces mais elegantes e a biblioteca ChartJS para auxiliar no processo de criação do gráfico em linhas. O uso dessas bibliotecas foi necessário para garantir uma boa experiência do usuário, facilitando a transparência e o resultado das informações. Na tabela, por exemplo, é possível digitar qualquer texto no campo de busca e o algoritmo faz uma consulta em todos os registros, filtrando o valor conforme digitado. Esse processo, foi bastante eficaz no processo de teste para realizar ajustes e calibração no algoritmo do firmware.

**Figura 6** — Servidor de banco de dados



**Fonte:** Elaborada pelos autores (2020)

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No hardware utilizado, contempla o uso de um Arduino conectado a um microfone, uma placa ethernet e um semáforo. O microfone é o canal de entrada de dados, onde se obtém o nível de barulho do ambiente através da plataforma Arduino.

No Arduino, é contida toda a lógica computacional que obtém os dados do microfone, realiza um processamento de limpeza de dados e os manda para o servidor. Após esse processo, é realizado um processamento para melhorar a qualidade da informação. Por último, os dados processados são exibidos no semáforo e enviados para o servidor.

Na versão inicial do firmware do Sistema Embarcado, foi identificada incoerência quando se utilizava os dados direto do microfone. No entanto, foi desenvolvido um algoritmo para identificar o valor máximo em um ciclo de iterações. Com isso, houve dois ganhos.

Primeiramente, o sistema apresentou dados mais consistentes, isso porque o processo de limpeza dos dados obtidos diretamente do sensor melhorou a qualidade da informação e representou com mais precisão o cenário real. O segundo ganho foi relacionado a quantidade de informações inseridas no banco de dados. Caso não houvesse o processo de tratamento de dados, seria inserido informações completamente irrelevantes, além de gerar um maior latência da conexão de rede e um consumo desnecessário no armazenamento dos dados.

Na versão web foi utilizado o Firebase, que é uma plataforma do Google que disponibiliza um conjunto de ferramentas para a construção de um sistema. Dentre eles, para o desenvolvimento deste protótipo, foi utilizado o recurso de hospedagem (hosting) e banco de dados (Realtime Database). Com a utilização desses dois recursos, teve-se um ganho muito maior de produtividade em comparação ao uso de ferramentas tradicionais de desenvolvimento backend, como Java, Python, PHP, entre outras tecnologias. Isso porque o Firebase já dispõe um ambiente escalável e de fácil acesso para configuração. O banco de dados é NoSQL e a ferramenta de manipulação e visualização dos dados é bastante intuitiva. Quanto à integração com uma página HTML e com o código Javascript, também é bastante simples, de modo que com poucas linhas de código é possível fazer uma leitura do banco de dados Realtime e exibir o conteúdo em uma página HTML. Além disso, o Firebase possui uso gratuito para até 100 conexões simultâneas, viabilizando completamente o desenvolvimento do protótipo até a fase de testes.

Em virtude das vantagens citadas do Firebase, esta plataforma foi escolhida para atuar como servidor web e de banco de dados. Portanto, o Arduino obtém os dados do microfone, processa e envia para o banco de dados. A página HTML, hospedada no servidor web, consome esses dados do banco e exibe de forma visual através de um gráfico e uma tabela.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Constatou-se que a qualidade final da informação obteve um resultado bem mais coerente após a implementação do algoritmo de valor máximo para o ciclo de cem iterações. Os testes foram realizados em um ambiente controlado de modo que os limites de definição de muito ou pouco barulho no algoritmo, foram estabelecidos com base na frequência do som projetado no ambiente.

Para melhorias futuras, pretende-se melhorar a experiência do usuário possibilitando o cadastro dos equipamentos no sistema e implementação de filtros de dados na tabela e no gráfico. O cadastro dos equipamentos facilita o uso pelo operador do sistema, diminuindo o trabalho e evitando o acesso ao código para implantação do equipamento em uma nova sala. Os filtros facilitam a visualização da informação, podendo ser exibida em um determinado período e/ou em um determinado ambiente.

Portanto, o protótipo veio atender um problema real que faz parte do nosso cotidiano, de modo que sua principal atuação é criar uma consciência de forma auto-educativa informando de forma transparente as pessoas o nível de barulho do ambiente que elas se encontram. Com essa informação disponibilizada de forma clara, cria-se uma própria consciência sobre o comportamento a ser tomado.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA FILHO, N. et. al. Intensidade do ruído produzido em sala de aula e análise de emissões acústicas em escolares. **Arquivos Internacionais de Otorrinolaringologia**, v. 16, n. 01, p. 91-95, jan/fev/mar, 2012.

ARDUINO. **What is Arduino?**. 2016. Disponível em: < <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Acesso em: 13 de setembro 2020.

COLITO, A. H. G. et. al. Ruído em ambientes de estudo e sua influência sobre o desempenho acadêmico de estudantes de computação na UNICAMP. **Revista Ciências do Ambiente On-line**, v.4, n. 01, agosto, 2008.

**FIREBASE**. Disponível em: <<https://firebase.google.com/?hl=pt-br>>. Acesso em: 13 de setembro de 2020.

HOAG, M. **Servidores web usando o apache**. São Paulo: Editora Berkeley Brasil, 2002. 496 p.

MCRBERTS, M. **Arduino básico**. São Paulo: Editora Novatec, 2011. 453p.

MOZILLA DEVELOPER NETWORK. **Introdução ao HTML**. 2014. Disponível em: < [https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Aprender/HTML/Introducao\\_ao\\_HTML](https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Aprender/HTML/Introducao_ao_HTML) >. Acesso em: 13 de setembro 2020.

MOZILLA DEVELOPER NETWORK. **What is a web server?**. 2016. Disponível em: < [https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Learn/Common\\_questions/o\\_que\\_e\\_um\\_web\\_server](https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Learn/Common_questions/o_que_e_um_web_server)>. Acesso em: 13 setembro 2020.

SILBERSCHATZ, A.; KORTH, H. F.; SUDARSHAN, S.; **Sistema de banco de dados**. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2006. 781p.

W3C. **Visão geral do HTML5**. 2010. Disponível em: <<https://www.w3schools.com/html>>. Acesso em: 13 de setembro 2020.

Wikipedia. **Arduino**. 2010. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Arduino>>. Acesso em: 13 de setembro de 2020.



# CONVERSOR UNIDIRECIONAL MONOFÁSICO AC-DC-AC DE TRÊS BRAÇOS COM DOIS E TRÊS NÍVEIS

## UNIDIRECTIONAL SINGLE-PHASE AC-DC-AC THREE-LEVEL AND TWO-LEVEL THREE-LEG CONVERTERS

### Jhonatas Pereira da Silva

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil  
*jhonatas.pereira.silva06@aluno.ifce.edu.br*

### José Henrique Batista de Freitas

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil  
*jose.henrique.batista61@aluno.ifce.edu.br*

### Vinícius de Moraes Melo

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil  
*moraes.melo60@aluno.ifce.edu.br*

### Mustenil Segundo de Moraes Lima Marinus

Universidade Federal de Campina Grande  
 Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil  
*nustenil.segundo@ifce.edu.br*

### José Janiere Silva de Souza

Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil  
*janiere.silva@ifce.edu.br*

## RESUMO

Neste artigo é proposto um conversor CA-CC-CA unidirecional de três braços. O conversor é composto por um braço de três níveis unidirecional no retificador, um braço de três níveis compartilhado entre o retificador e inversor e um braço de dois níveis no inversor. O braço de três níveis utilizado é do tipo NPC (Neutral Point Clamped) e, além de gerar mais níveis de tensão, apresenta a vantagem de reduzir pela metade o nível de tensão sobre as chaves semicondutoras, quando comparado com o braço de dois níveis convencional. Desta forma, as perdas por chaveamento podem ser reduzidas. São apresentados a modelagem do sistema, estratégia PWM e de controle do conversor proposto. Por ser um conversor unidirecional, a corrente da rede e a tensão gerada no lado da carga são sincronizadas com a tensão sintetizada no lado da rede, eliminando assim a distorção da passagem pelo zero da corrente de rede causada pelo uso de diodos, sem a utilização do controle por histerese. Resultados experimentais e simulação também são apresentados.

**Palavras-chave:** Conversor. NPC. Controle.

## ABSTRACT OR RESUMEN

In this paper a unidirectional three-arm AC-DC-AC converter is proposed. The converter is composed of a unidirectional three-level arm on the rectifier, a three-level arm shared between the rectifier and inverter, and a two-level arm on the inverter. The three-level arm used is of the NPC (Neutral Point Clamped) type and, in addition to generating more voltage levels, it has the advantage of halving the voltage level on semiconductor switches, when compared to the conventional two-level arm. In this way, switching losses can be reduced. The system modeling, PWM strategy and control of the proposed converter are presented. As it is a unidirectional converter, the mains current and the voltage generated on the load side are synchronized with the synthesized voltage on the mains side, thus eliminating the distortion of the zero crossing of the mains current caused by the use of diodes, without the use of control by hysteresis. Experimental and simulation results are also presented.

**Keywords:** Converter. NPC. Control.



## 1. INTRODUÇÃO

Devido ao constante aumento de equipamentos eletroeletrônicos, a comunidade científica e a indústria tem pesquisado e desenvolvido diversos tipos de conversores monofásicos de baixo custo e que forneçam alta qualidade de energia, com o intuito de alimentar cargas CA, como equipamentos eletrônicos e motores elétricos [1-2]. Um equipamento muito usado para alimentar cargas monofásicas CA e fornecer alta qualidade energia são as fontes de alimentação ininterrupta (UPS - uninterruptible power supply). Uma configuração de conversor CA-CC-CA que pode ser utilizada em UPS é mostrada na Figura 1(a), onde é composta por três braços de dois níveis (chamada aqui de convencional ou C222).

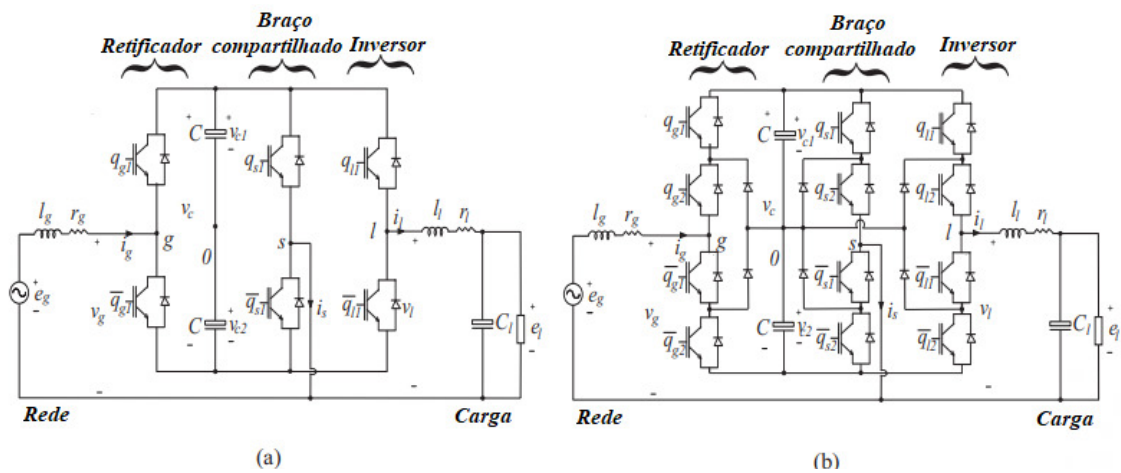
Como forma alternativa, os braços de dois níveis podem ser substituídos por braços de três níveis do tipo Neutral Point Clamped (NPC), como mostrado na Fig. 1 (b) [7-8]. O braço NPC apresenta algumas vantagens em relação ao braço de dois níveis, como: i) redução de tensão nas chaves; ii) menor tensão  $dv / dt$  nos semicondutores; iii) redução das perdas de chaveamento e iv) menor distorção harmônica para a mesma frequência de chaveamento [1], [9].

Em aplicações com fluxo de potência unidirecional, a fim de reduzir os custos do conversor, as chaves controladas (por exemplo, IGBT) podem ser substituídas por chaves não controladas (por exemplo, diodos) no lado do retificador, onde ainda pode obter baixa distorção harmônica, baixas perdas nos semicondutores e alto fator de potência [10-13].

Este artigo propõe um conversor AC-DC-AC monofásico unidirecional com utilização de braços de três e dois níveis. Este conversor é composto por um braço NPC unidirecional, um braço de três níveis (braço compartilhada) e um braço de dois níveis, denominado como C3D32 [14-16].

Modelo do sistema, estratégias de modulação por largura de pulso (PWM) e de controle para a topologia proposta são apresentadas neste trabalho. É realizada uma análise detalhada do conversor, incluindo as seguintes figuras de mérito: i) componentes dos conversores; ii) distorção harmônica e perdas de potência dos semicondutores; iii) resultados de simulação e experimentais.

**Figura 1** — Configurações convencionais. (a) Conversor de três braços de dois níveis (C222). (b) Conversor de três níveis de três braços (C333).

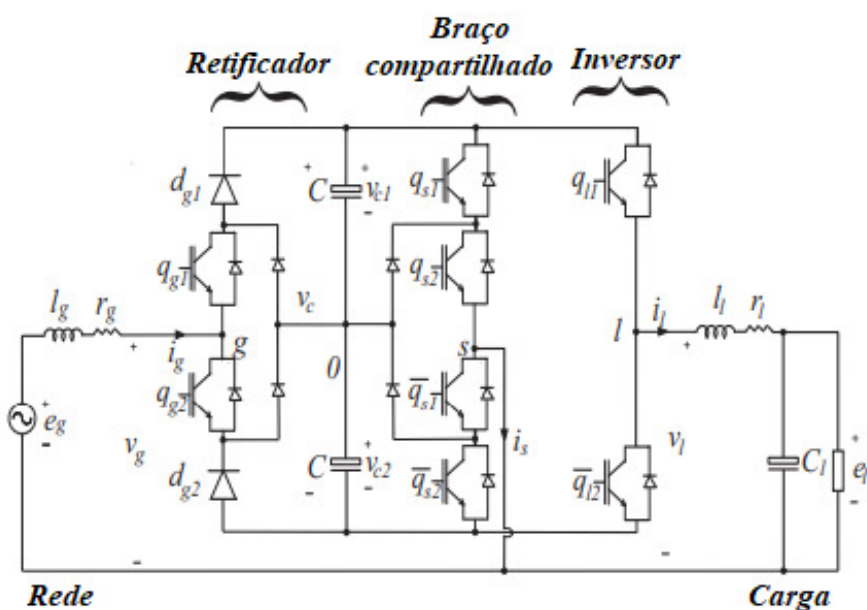


## 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 2.1 Modelo do sistema

Conversor proposto composto por um braço NPC unidirecional no lado do retificador, um braço NPC compartilhado entre a rede e carga, e um braço convencional de dois níveis., conforme apresentado na Fig. 2.

**Figura 2** — Conversor com um braço NPC unidirecional e duas pernas bidirecionais de três níveis e dois níveis



O braço unidirecional é composto pelas chaves  $q_{g1}$  e  $q_{g2}$  e diodos  $d_{g1}$  e  $d_{g2}$ . Considerando as tensões do capacitor iguais, ou seja,  $v_{c1} = v_{c2} = v_c$ , do sistema na Fig. 2, as seguintes equações podem ser derivadas para todas as topologias apresentadas anteriormente:

$$e_g = r_g i_g + l_g \frac{di_g}{dt} + v_g$$

$$e_l = -r_l i_l - l_l \frac{di_l}{dt} + v_l$$

$$i_s = i_g - i_l$$

$$v_g = v_{g0} - v_{s0}$$

$$v_l = v_{l0} - v_{s0}$$

Onde  $r_g$  e  $r_l$ ,  $l_g$  e  $l_l$  são a resistência e indutância do filtro indutivo no lado da rede e da carga, respectivamente,  $e_g$  e  $e_l$  são as tensões da rede e da carga, respectivamente e  $v_g$  e  $v_l$  são as tensões sintetizadas pelo conversor no lado da rede e da carga. As tensões dos polos dos braços  $g$ ,  $s$  e  $l$  são  $v_{g0}$ ,  $v_{s0}$  e  $v_{l0}$ , respectivamente.

Na Tabela 1 são mostradas as condições de operação do braço NPC unidirecional. Observe que, quando a corrente da rede é negativa ( $i_g < 0$ ), o estado da chave  $q_{g1}$  define o valor da tensão do polo de  $v_{g0}$  porque o diodo  $d_{g1}$  é polarizado reversamente. Por outro lado, quando a corrente da rede é positiva ( $i_g \geq 0$ ), o estado da chave  $q_{g2}$  define a tensão do polo  $v_{g0}$  porque o diodo  $d_{g2}$  é polarizado reversamente.

Desta forma, como o conversor é unidirecional, a tensão  $v_l$  e a corrente  $i_g$  devem estar sincronizadas com a tensão  $v_g$ , para que a tensão do polo  $v_{g0}$  seja devidamente modulada, evitando distorção na corrente da rede.

**Tabela 1** — Operação do braço retificador

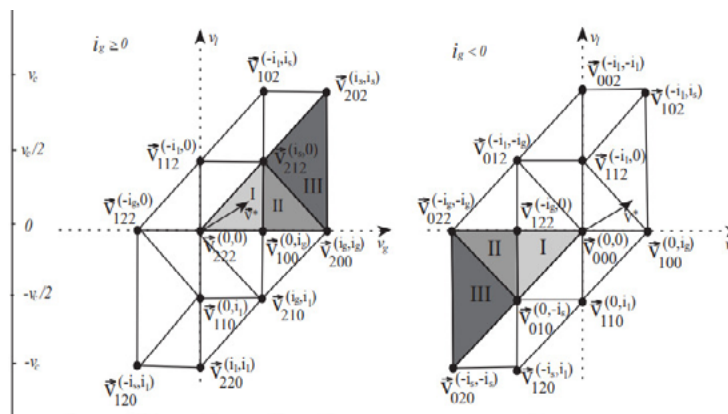
$i_g$	$q_{g1}$	$q_{g2}$	$v_{g0}$
$i_g \geq 0$	-	0	$v_{c1}$
	-	1	0
$i_g < 0$	0	-	$-v_{c2}$
	1	-	0

**Fonte:** O autor

## 2.2. PWM vetorial

A tensão fornecida pela configuração proposta pode ser exibida no plano vetorial espacial gl. Este plano vetorial é definido de forma que as tensões  $v_g$  e  $v_l$  coincidam com os eixos real (Re) e imaginário (im), respectivamente. Um vetor de referência nesse plano pode ser representado por  $v_{gslc1,ic2} = v_g + jv_l$ , onde o subscrito  $gls$  representa os estados do braço  $g, s$  e  $l$ , respectivamente. Se a tensão do polo é  $-vc/2$ , o estado é 0, se a tensão do polo é 0 o estado é 1 e, finalmente, se a tensão do polo é  $vc/2$ , o estado é 2. A correntes  $i_{c1}$  e  $i_{c2}$  são as correntes dos capacitores de  $C1$  e  $C2$ , respectivamente. O plano vetorial da configuração proposta C3D32 para cada condição de corrente é mostrado na Figura 3.

**Figura 3** — Plano vetorial espacial para correntes da rede positivas e negativas



**Fonte:** O autor

**Tabela 2** — Operação PMW Vetorial

$-vc/2$	0
0	1
$vc/2$	2

**Fonte:** O autor

Devido ao uso do braço NPC unidirecional e a sincronização da corrente  $i_g$  com as tensões  $v_g$  e  $v_l$ , apenas os setores I, II e III são utilizados. Desta forma, as tensões de polo do conversor são devidamente moduladas, evitando possíveis distorções na corrente. Todos os setores apresentam três ou mais vetores diferentes. Em cada setor,

a estratégia PWM vetorial define o tempo em que cada vetor é utilizado, de acordo com as tensões do vetor de referência  $v_{gsl}^* = v_g^* + jv_l^*$ . O vetor de referência  $v_{gsl}^*$  é constante ao longo do período  $T'$ .

Uma vez encontrado o setor a ser usado, existem algumas soluções de sequências de vetores. As sequências para obter a menor taxa de comutação a fim de reduzir as perdas de comutação para C3D32, são apresentadas na Tabela II, respectivamente. As sequências de vetores em cada setor são mostradas para  $i_g^* \geq 0$  e  $i_g^* < 0$ , conforme a Fig. 3.

**Tabela 3** — Sequência de aplicação de vetores para configuração de C3D32

Setor	$i_g \geq 0$	$i_g < 0$
	Sequência de vetores	Sequência de vetores
I	$\vec{v}_{222} \rightarrow \vec{v}_{212} \rightarrow \vec{v}_{100} \rightarrow \vec{v}_{212} \rightarrow \vec{v}_{222}$	$\vec{v}_{000} \rightarrow \vec{v}_{010} \rightarrow \vec{v}_{122} \rightarrow \vec{v}_{010} \rightarrow \vec{v}_{000}$
II	$\vec{v}_{100} \rightarrow \vec{v}_{200} \rightarrow \vec{v}_{212} \rightarrow \vec{v}_{200} \rightarrow \vec{v}_{100}$	$\vec{v}_{122} \rightarrow \vec{v}_{022} \rightarrow \vec{v}_{010} \rightarrow \vec{v}_{022} \rightarrow \vec{v}_{122}$
III	$\vec{v}_{200} \rightarrow \vec{v}_{202} \rightarrow \vec{v}_{212} \rightarrow \vec{v}_{202} \rightarrow \vec{v}_{200}$	$\vec{v}_{020} \rightarrow \vec{v}_{120} \rightarrow \vec{v}_{022} \rightarrow \vec{v}_{120} \rightarrow \vec{v}_{020}$

Fonte: O autor

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Estratégia de controle

É apresentado na Fig. 4 o diagrama de blocos de controle. O controlador tipo Proporcional Integral (PI) convencional é usado no bloco  $R_c$ , que ajusta a tensão do barramento CC  $v_c = v_{c1} + v_{c2}$  ao seu valor de referência  $v_c^*$ . A corrente instantânea  $i_g^*$  e a tensão  $v_l^*$  são sincronizadas com a tensão sintetizada pelo conversor no lado da rede  $v_g$ . Essa sincronização é necessária porque o conversor é unidirecional, evitando distorções de cruzamento zero da corrente de rede. Isto é obtido através do bloco GEN-Ig para corrente de rede e bloco GEN-El para tensão de carga com base em um esquema PLL (Phase Locked Loop). Os controladores de corrente de rede (bloco Ri) e tensão de carga (bloco Rl) podem ser implementados usando técnicas lineares ou não lineares [17-18]. Aqui é utilizado um controlador de dupla-sequência com erro zero na frequência de 60 Hz [18].



**Tabela 4** — Operação PMW Vetorial

Parâmetros	Valor
Tensão de barramento DC	175 V
Tensão de rede (RMS)	120 V
Potência	600 VA
Frequência de chaveamento	10 kHz
Índice de modulação	0.9
$r_g$	0.1 $\Omega$

**Fonte:** O autor

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Perdas nos semicondutores

A estimativa das perdas de potência no semicondutor foi feita através do recurso de módulos térmicos do software de simulação PSIM®.

A Tabela IV são mostradas as perdas de potência nos semicondutores (como uma porcentagem da potência do conversor) para a configuração proposta e convencional. As perdas de potência mostradas nesta tabela são: a) perdas de condução ( $P_{cd}$ ), b) perdas de comutação ( $P_{sw}$ ) e c) perdas totais ( $P_t = P_{cd} + P_{sw}$ ). Os parâmetros usados estão listados na Tabela III.

**Tabela 5** — Estimativas de perdas no semicondutor para configuração proposta

Conf.	Perdas	Braços			Total	$P_t$
		$g$	$s$	$l$		
C222	$P_{cd}$	0,8%	0,29%	0,82%	1,91%	7,87%
	$P_{sw}$	2,44%	1,22%	2,29%	5,96%	
C333	$P_{cd}$	1,41%	0,51%	1,55%	3,47%	6,09%
	$P_{sw}$	1,15%	0,49%	0,98%	2,62%	
C3D32	$P_{cd}$	1,32%	0,52%	0,82%	2,66%	6,45%
	$P_{sw}$	1,0%	0,49%	2,28%	3,78%	

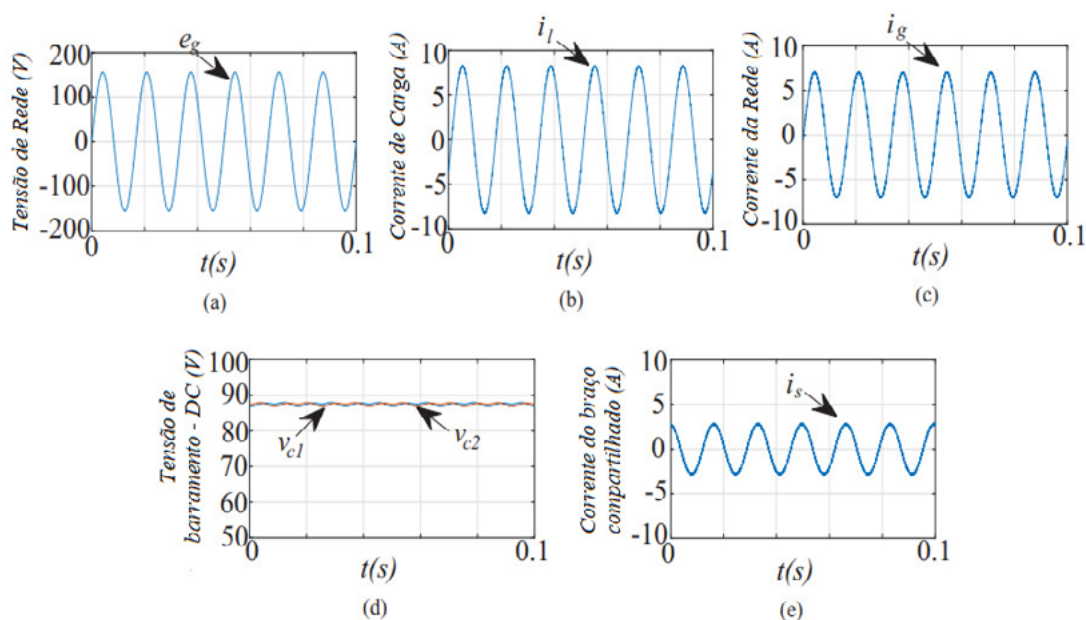
**Fonte:** O autor



## 4.2. Resultados simulados

A simulação foi realizada com o software PSIM® Demonstrar a utilização das estratégias propostas de modulação e de controle e validar a configuração proposta. Os parâmetros usados estão listados na Tabela III. Na Figura 5 é mostrado que a tensão em cada capacitor do link CC é controlada em seus valores de referência em 87,5 V, ou seja, a tensão do link CC é igual a 175 V.

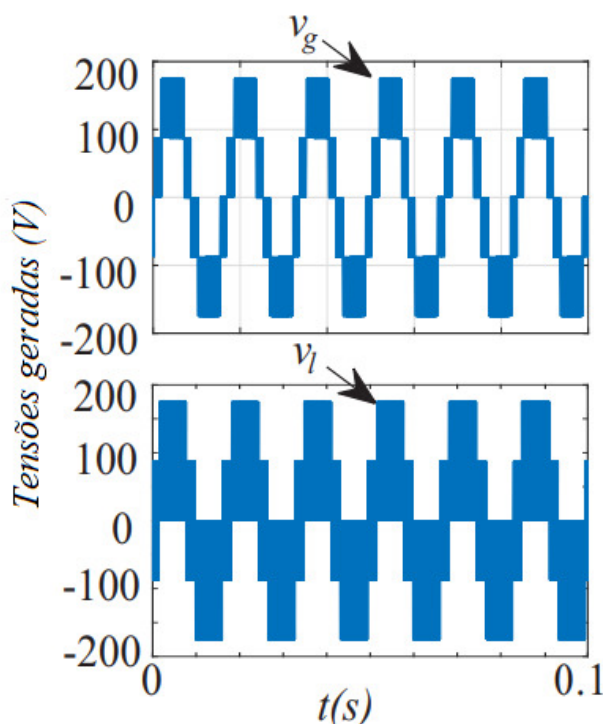
**Figura 5** — Resultados da simulação para a topologia proposta. (a) Tensão da rede (por exemplo). (b) Corrente de carga ( $i_l$ ). (c) Corrente de rede ( $i_g$ ). (d) Tensão gerada ( $v_g$ ). (e) Tensão de carga ( $v_l$ ). (f) Tensões do barramento CC ( $v_{c1}$  e  $v_{c2}$ )



**Fonte:** O autor

A tensão sintetizada no lado de rede e da carga ( $v_g$  e  $v_l$ ) da configuração C3D32 é mostrada na Figura 6. Percebe-se que, com a utilização dos braços de três níveis, é possível gerar tensão de cinco níveis bem definidos no lado da rede

**Figura 6** — Tensões geradas



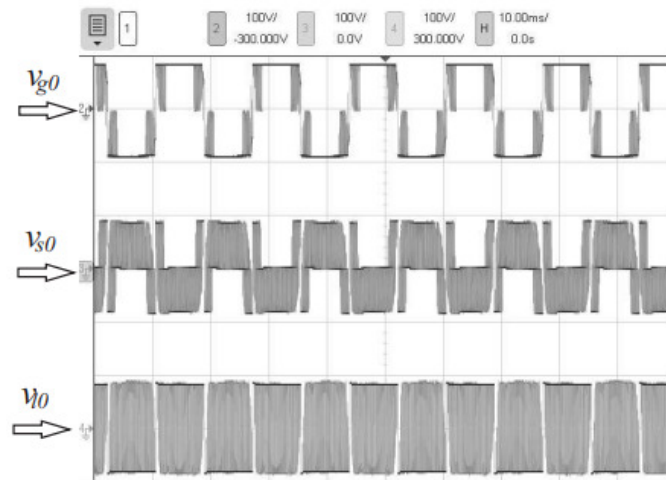
**Fonte:** O autor

### 4.3. Resultados experimentais

A configuração usada nos testes experimentais foi construída usando dispositivos de energia da SEMIKRON, com chaves do tipo SK50MLI066 e módulos IGBT com drives dedicados (SKHI 20opA). Um Digital Signal Processor (DSP) TMS320F28335 com placas plug-in e sensores de tensão e corrente foram usados para a geração de sinais de gating e para medir variáveis. O sistema opera com uma frequência de chaveamento de 10 kHz. Os parâmetros do conversor montado na bancada experimental são: tensão do link CC, tensão da rede RMS, capacitância do barramento CC, potência de carga igual a 170 V, 110 V, 4400  $\mu$ F e 500 VA, respectivamente.

É mostrado na Fig.7 a tensão dos polos dos resultados experimentais para a topologia C3D32. Observe que a perna do NPC apresenta três níveis de tensão.

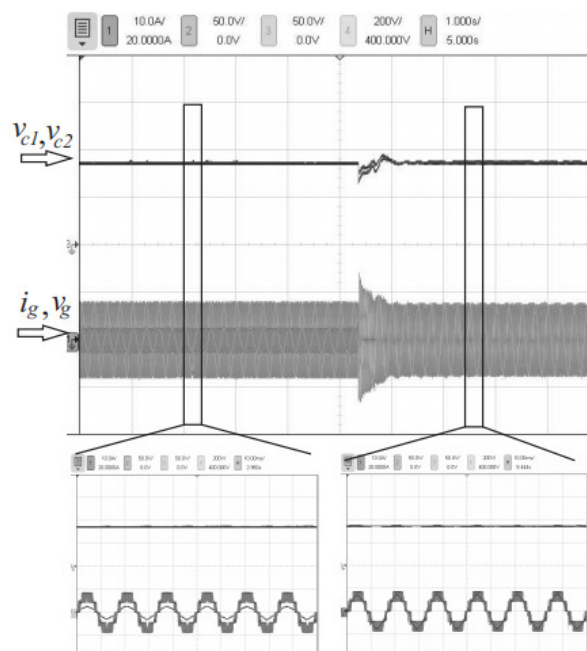
**Figura 7** — Resultados Experimentais



**Fonte:** O autor

É mostrado na Fig. 8 os resultados experimentais para a topologia C3D32 para um transiente de carga. Observe que todos os requisitos de controle foram obedecidos, ou seja, o controle garante a corrente da rede com formato senoidal e a tensão do barramento CC é controlada em seus valores de referência (ou seja, 170 V). Também é mostrada a tensão gerada no lado da rede para resultados experimentais. Observe que a tensão sintetizada tem cinco níveis.

**Figura 8** — Resultados experimentais para a topologia proposta: Transiente de carga.



**Fonte:** O autor

## 5 CONCLUSÃO

Um conversor de três braços monofásico unidirecional foi proposto e investigado neste artigo. O conversor é composto por um retificador unidirecional e um inversor bidirecional com braços de três níveis e dois níveis. Um método de sincronização, o PWM vetorial e a estratégia de controle proposta permitem o correto funcionamento do conversor.

Quando comparada a topologia monofásica convencional (C333), A configuração proposta possui menos semicondutores controlados. Além da redução nos semicondutores controlados, menos circuitos de acionamentos das chaves (drives) são necessários., reduzindo o volume e os custos. Além disso, para essa configuração, uma ou duas pernas NPC são substituídas por uma perna de dois níveis, reduzindo o número de interruptores controlados.

Um modelo do sistema adequado, PWM e estratégia de controle do sistema foi apresentado. A simulação e os resultados experimentais também foram apresentados e mostraram que o conversor proposto apresenta um adequado funcionamento.

## 6 AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pelo financiamento do trabalho e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, campus Cedro, pelo o espaço e a oportunidade de crescimentos de seus alunos.

## REFERÊNCIAS

- [1] J. RODRIGUEZ, JIH-SHENG LAI, AND FANG ZHENG PENG. Multilevel inverters: a survey of topologies, controls, and applications. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, 49(4):724–738, Aug 2002.
- [2] M. MALINOWSKI, K. GOPAKUMAR, J. RODRIGUEZ, AND M. A. PEREZ. A survey on cascaded multilevel inverters. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, 57(7):2197–2206, July 2010.
- [3] J.-H. CHOI, J.-M. B. KWON, J.-H. JUNG, AND B.-H. KWON. Highperformance online UPS using three-leg-type converter. **IEEE Trans. Ind. Electron.**, 52(3):889–897, Jun. 2005
- [4] C.B. JACOBINA, T.M. OLIVEIRA E E.R.C. DA SILVA. Controle do conversor CA / CA trifásico monofásico. **Industrial Electronics, IEEE Transactions on**, 53 (2): 467-476, abril de 2006
- [5] J.-M. Kwon, K.-T. Kim, and B.-h. Kwon. Instant voltage compensator based on a three-leg converter. **Power Electronics, IET**, 6(8):1618–1625, September 2013.
- [6] C.B. JACOBINA, N. ROCHA, N.S.M.L. MARINUS, AND E.C. SANTOS. ACAC single-phase DC-link converter with four controlled switches. In **Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)**, 2012 Twenty-Seventh Annual IEEE, pages 1927–1932, Feb 2012.
- [7] C. B. JACOBINA, I. S. DE FREITAS, T. M. OLIVEIRA, AND E. R. C. DA SILVA. Ac/ac single-phase three-leg dc-link converters based on three-level and two-level legs. In 2009 Twenty-Fourth Annual. **IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition**, pages 1842–1848, Feb 2009.
- [8] I. SOARES DE FREITAS, C.B. JACOBINA, E.R.C. DA SILVA, AND T.M. OLIVEIRA. Single-phase AC-DC-AC three-level three-leg converter. **Industrial Electronics, IEEE Transactions on**, 57(12):4075–4084, 2010.
- [9] A. NABAE, I. TAKAHASHI, AND H. AKAGI. A new neutral-point-clamped PWM inverter. **Industry Applications, IEEE Transactions on**, IA17(5):518–523, Sept 1981.
- [10] T. NUSSBAUMER AND J. W. KOLAR. Comparison of 3-phase wide output voltage range PWM rectifiers. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, 54(6):3422–3425, Dec 2007.
- [11] D. F. CORTEZ AND I. BARBI. Um retificador PFC de capacitor híbrido de múltiplos níveis para aplicações de ganho de alta tensão. **IEEE Transactions on Power Electronics**, 31 (5): 3495–3505, maio de 2016.

- [12] N. S. DE MORAES LIMA MARINUS, C. B. JACOBINA, N. ROCHA E E. C. DOS SANTOS. Conversor trifásico AC-DC-AC baseado em três conversores de três pernas conectados em série. **IEEE Transactions on Industry Applications**, 52 (4): 3171-3181, julho de 2016.
- [13] M. L. HELDWEIN, S. A. MUSSA E I. BARBI. Retificadores PWM multiníveis trifásicos baseados em conversores bidirecionais convencionais. **IEEE Transactions on Power Electronics**, 25 (3): 545-549, março de 2010.
- [14] N. S. M. L. MARINUS, C. B. JACOBINA, N. ROCHA E R. P. R. DE SOUSA. Um conversor unidirecional monofásico ca-cc-ca de três níveis de três pernas. Em 2017, **IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)**, páginas 1534-1541, março de 2017.
- [15] R. P. REZENDE DE SOUSA, N. S. DE MORAES LIMA MARINUS, C. B. JACOBINA E N. ROCHA. Um conversor monofásico CA-CC-CA de três níveis e unidirecional. **IEEE Transactions on Industry Applications**, páginas 1-1, 2018.
- [16] N. S. M. L. MARINUS, C. B. JACOBINA, N. ROCHA E R. P. R. DE SOUSA. Conversores unidirecional monofásico ca-cc-ca de três níveis e dois níveis de três pernas. Em 2017, **IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)**, páginas 2023-2030, outubro de 2017.
- [17] G. DONG E O. OJO. Regulagem atual em conversores de fonte de tensão de quatro pernas. **IEEE Trans. Ind. Electron.**, 54 (4): 2095-2105, agosto de 2007.
- [18] C. B. JACOBINA, M. B. DE R. CORREA, T. M. OLIVEIRA, A. M. N. LIMA E E. R. C. DA SILVA. Controle de corrente de sistemas elétricos desequilibrados. **IEEE Trans. Ind. Electron.**, 48 (3): 517-525, junho de 2001.

# AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES ELÉTRICAS E ÓPTICAS DA ELETROCERÂMICA LANBO4 DOPADA COM ÍON TERRA RARA PRASEODÍMIO

## EVALUATION OF THE ELECTRICAL AND OPTICAL PROPERTIES OF THE ELECTROCERAMIC LANBO4 DOPED WITH RARE TERRA ION PRASEODYMIUM

### João Paulo Costa do Nascimento

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil  
*jpquimico3@gmail.com*

### Juscelino Chaves Sales

Universidade do Vale do Acaraú, Brasil  
*juscelinochaves@hotmail.com*

### Francisco José Alves de Aquino

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil

*fcoalves\_aq@ifce.edu.br*

### Daniel Xavier Gouveia

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil  
*dxgouveia@gmail.com*

### Antonio Sérgio Bezerra Sombra

Universidade Federal do Ceará  
*asbsombra@gmail.com*

---

## RESUMO

Neste trabalho, foi realizada a síntese através do método reacional do estado sólido de novos materiais cerâmicos baseados na matriz  $\text{LaNbO}_4$  (LNO) dopada com o íon terra-rara praseodímio. Após a etapa de síntese, as cerâmicas obtidas foram analisadas através das técnicas de difração de raios-X, espectroscopia de impedância na região de radiofrequência (RF) e fluorescência down-conversion. A difração de raios-X demonstrou que não houve formação de fases secundárias nas amostras sintetizadas. A espectroscopia de impedância mostrou que a entrada dos íons  $\text{Pr}^{3+}$  e  $\text{Pr}^{4+}$  causaram alterações significativas na condutividade da matriz LNO, o que é explicado devido à geração de defeitos que ocorrem na estrutura cristalina dessa matriz para compensar as cargas positivas resultantes da entrada dos íons dopantes. Na fluorescência down-conversion, foi observado que apenas a amostra dopada demonstrou emissão após excitação em 470 nm, sendo observado bandas bem definidas na região do vermelho.

**Palavras-chave:**  $\text{LaNbO}_4$ . Fluorescência. Célula a combustível de óxido sólido.

## ABSTRACT OR RESUMEN

In this work, the synthesis through the reaction method of the solid-state of new ceramic materials based on the  $\text{LaNbO}_4$  matrix (LNO) doped with the rare earth ion praseodymium was carried out. After the synthesis, the ceramics were analyzed using the techniques of X-ray diffraction, impedance spectroscopy in the radiofrequency (RF) region, and down-conversion fluorescence. The X-ray diffraction showed that there was no formation of secondary phases in the samples. Impedance spectroscopy showed that the entry of the  $\text{Pr}^{3+}$  and  $\text{Pr}^{4+}$  ions caused significant changes in the conductivity of the LNO matrix, which is explained by the generation of defects that occur in the crystalline structure of this matrix to compensate for the positive charges resulting from the entry of the doping ions. In down-conversion fluorescence, it was observed that only the doped sample showed emission after excitation at 470 nm, with well-defined bands in the red region.

**Keywords:**  $\text{LaNbO}_4$ . Fluorescence. Solid oxide fuel cell.



## 1. INTRODUÇÃO

A família cerâmica dos orto-niobatos ( $\text{ANbO}_4$ ) é uma classe de compostos que apresenta propriedades interessantes para aplicações em sensores, diodo emissor de luz (LEDs), termometria, dentre outras (DA SILVA MARQUES et al., 2020; ĐAČANIN FAR et al., 2018; WANG et al., 2018). Dentre as cerâmicas que fazem parte dessa família, o orto-niobato de lantânio ( $\text{LaNbO}_4$ ) apresenta boas propriedades mecânicas e de próton condução, o que faz com que esse material possa ser aplicado em diversas aplicações tecnológicas.

Recentemente, vem chamando atenção a possibilidade de utilização do  $\text{LaNbO}_4$  em célula a combustível de óxido sólido (SOFC) que é uma forma de geração de energia. No entanto, para que esse material possa ser usado dessa forma é necessário aumentar sua condutividade e, por esse motivo, muitas pesquisas têm sido realizadas com o foco de realizar alterações estruturais para obter uma maior condutividade para essa cerâmica (CAO et al., 2014; MAGRASÓ et al., 2014).

Outra aplicação que vem sendo muita pesquisada na literatura para o LNO está relacionada às suas propriedades ópticas. Isso ocorre porque esse material possui alta estabilidade térmica e química, além do fato de poder comportar bem íons terra-raras em sua estrutura (CHENG et al., 2020; DA SILVA MARQUES et al., 2020).

O processo de dopagem é muito usado na ciência dos materiais para aumentar ou fornecer uma nova característica para um material sem causar grandes mudanças estruturais neste. Isso ocorre pela inserção de uma espécie dopante que apresente carga e raio iônicos similares à espécie que será substituída. Muitos estudos demonstram que a inserção de dopantes no sítio A acaba influenciando as propriedades elétricas e ópticas do orto-niobatos (DO CARMO et al., 2018; WANG et al., 2020).

O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da dopagem de 3% em mol do íon terra-rara praseodímio, sobre as propriedades dielétricas de fluorescência down-conversion da matriz cerâmica  $\text{LaNbO}_4$

## 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Cerâmicas eletrônicas pertencem à classe de materiais não condutores (isolantes) e, geralmente, apresentam resposta após serem submetidos a campos elétricos, magnéticos ou eletromagnéticos externos. Estas respostas se apresentam como um deslocamento das cargas elétricas no interior do material resultando na formação de dipolos elétricos (VADIM F. LVOVICHWILEY, 2012).

Devido às essas propriedades, as cerâmicas podem ser utilizadas em diferentes tipos de aplicações, tais como circuitos de micro-ondas, antenas ressoadoras dielétricas, osciladores, capacitores, dentre outras. Sendo uma das aplicações mais relevantes a possibilidade de obtenção de supercondutores (NAVEED et al., 2017). Além disso, as cerâmicas podem ser sintetizadas com dimensões nanométricas ou serem produzidas em escala industrial dependendo do método de síntese empregado (DA SILVA MARQUES et al., 2020).

Outro processo bastante interessante que utiliza materiais cerâmicos é o processo de fluorescência, que é observado quando um material emite energia em comprimento de onda diferente do qual ele foi excitado. A fluorescência pode ser classificada em diferentes tipos, sendo um dos mais conhecidos o processo down-conversion. Neste processo, um material após ser excitado emite radiação em comprimento de onda maior do que a fonte de excitação, ou seja, a energia emitida por ele é menor do que a energia usada para excitá-lo. Isso permite que a emissão obtida apresente eficiência elevada (RONDA, 2008).

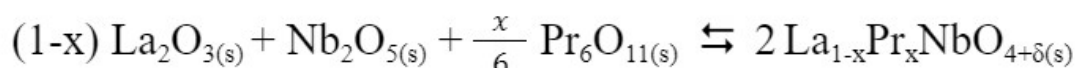
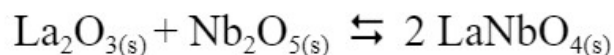
Materiais cerâmicos podem ser empregados nesse tipo de processo por apresentar alta resistência térmica e química, além do fato de que podem ter sua estrutura alterada para que seja possível incluir espécies com a capacidade de emitir luz em comprimentos de onda específica, tais como os íons terra-raras ou metais de transição (HU et al., 2019).

### 3 METODOLOGIA

A síntese da cerâmica LNO pura e co-dopada com praseodímio foi realizada utilizando o processo de reação no estado sólido, onde os reagentes  $\text{La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  e  $\text{Pr}_6\text{O}_{11}$  foram pesados de acordo com a estequiometria desejada e em seguida foram moídos por algumas horas. No reagente  $\text{Pr}_6\text{O}_{11}$ , o praseodímio se encontra nos estados de oxidação  $3+$  e  $4+$ , onde a proporção estequiométrica entre esses íons é de um mol de  $\text{Pr}^{3+}$  para cada dois mol de  $\text{Pr}^{4+}$  ( $\text{Pr}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{PrO}_2$ ).

Na amostra dopada, os cálculos estequiométricos foram feitos considerando

que os íons Pr<sup>3+</sup> e Pr<sup>4+</sup> substituíssem na proporção de 1 mol para 1 mols os íons La<sup>3+</sup> na estrutura do LNO. As reações para a obtenção da fase LNO pura (1) e amostra dopada (2) são sugeridas a seguir:



Os reagentes foram então colocados em recipientes de poliacetal junto com esferas de óxido de zircônio (ZrO<sub>2</sub>) para que fossem moídos por quatro horas a velocidade de 360 rpm para que fossem homogeneizados. Após a etapa de moagem, os materiais obtidos foram calcinados na temperatura de 1100°C pelo período de duas horas. Finalizado o processo de calcinação, amostras foram retiradas e usadas para a realização de difração de raios-X seguida do refinamento de Rietveld, para verificar possíveis mudanças na estrutura cristalina da amostra co-dopada em relação à amostra pura.

Os materiais foram inseridos, separadamente, dentro de um molde de aço inox onde foi aplicada uma pressão de 200 Mpa por 5 minutos sobre cada material para que esses fossem conformados em discos cerâmicos. Essas foram colocadas no forno para serem sinterizadas a 1200°C por seis horas e depois de retiradas do forno, elas foram utilizadas para fazer as medidas de fluorescência down-conversion e de espectroscopia de impedância. Para as medidas de fluorescência foi utilizado um LED multicanal (MCLS) com comprimento de onda de 470 nm e de potência de saída de 9 mW. Enquanto que para as medidas de espectroscopia, os discos tiveram suas superfícies pintadas por tinta condutora de prata para permitir o contato elétrico, sendo que as medidas foram realizadas na região de 10Hz a 1MHz na faixa de temperatura entre 350 a 450°C, usando um analisador de impedância modelo Solartron 1260.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizadas medidas de difração de raios-X em todas as amostras para analisar se a substituição com os íons Pr<sup>3+</sup> e Pr<sup>4+</sup> levaria a formação de fases secundárias, bem como avaliar possíveis modificações na estrutura cristalina da matriz LNO. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 1.

Ao analisar os difratograma do LNO puro e da amostra dopada com o padrão de difração do LNO obtido no banco de dados do ICSD (nº 81616), é possível verificar uma grande concordância entre os picos de difração das amostras sintetizadas com relação ao padrão do ICSD, não sendo observados picos de difração adicionais que indicariam a presença de outros materiais além do LNO. O refinamento de Rietveld das amostras apresentou baixo valor residual, onde todos os parâmetros de controle estavam dentro da faixa considerada aceitável para um refinamento adequado confirmando que nas amostras investigadas existe presença apenas da fase cerâmica LaNbO<sub>4</sub>.

Com relação a análise dielétrica foi obtidas medidas de condutividade ( $\sigma'$ ) em diferentes temperaturas sob uma ampla faixa de frequência. Condutividade é um dos parâmetros de maior relevância no estudo das propriedades dielétricas, já que ela está relacionada ao movimento dos carregadores de carga e muitas aplicações dependem dela.

Nas Figuras 2a-b são demonstradas a dependência de  $\sigma'$  com a temperatura e frequência para as LNO e LNO:Pr3%. É possível observar um aumento da condutividade com a temperatura, esse comportamento é característico de matérias isolantes ou semicondutores, como é o caso dos materiais cerâmicos. Além disso, pode ser observado uma região de frequência entre 10 Hz e 10 kHz em que a condutividade é quase independente da frequência, se aproximando de uma condutividade DC.

Quando se compara as condutividades das amostras, é possível verificar que LNO:Pr3% possui uma condutividade maior do que LNO puro em todas as temperaturas analisadas. Esse aumento na condutividade indica que novos portadores de carga estariam sendo formados devido à formação de mais defeitos na estrutura cristalina do LNO, devido principalmente pela inserção dos íons Pr<sup>4+</sup> (CAO et al., 2014).

Os resultados obtidos demonstram que a dopagem realizada causou o aumento na condutividade dos materiais dopados em relação ao LNO puro, o tornaria a amostra LNO:Pr3% um possível candidatos para aplicações em célula a combustível de óxido sólido (SOFC) (COOPER; BRANDON, 2017).

O estudo de fluorescência down-conversion das amostras LNO e LNO:Pr3% foi realizado a temperatura ambiente, onde os materiais foram excitados na região do azul ( $\lambda = 470$  nm). Os resultados obtidos são apresentados na Figura 3. Não foi observada emissão do LNO nas condições utilizadas no estudo, por esse motivo apenas o resultado do LNO:Pr3% é apresentado.

Pela figura, é possível notar diversas bandas de emissão bem definidas na região do vermelho que são relacionadas às transições eletrônicas que ocorrem entre os orbitais 4f do íon Pr<sup>3+</sup> da seguinte forma: 1D<sub>2</sub> → 3H<sub>4</sub> (600 nm); 3P<sub>0</sub> → 3H<sub>6</sub> (620 nm); 3P<sub>2</sub> → 3F<sub>3</sub>

(630 nm);  $3P_0 \rightarrow 3F_2$  (650 nm);  $1D_2 \rightarrow 3H_5$  (690 nm);  $3P_0 \rightarrow 3F_3$  (710 nm) and  $3P_0 \rightarrow 3F_4$  (735 nm). Além disso, pode ser observado que a banda em 650 nm é a mais intensa dentre todas as emissões e isso é explicado pelo fato de que na matriz LNO, o íon  $Pr^{3+}$  ocupa o sítio de baixa simetria  $C_2$  o que favorece a transição  $3P_0 \rightarrow 3F_2$  fazendo com que ela apresente maior intensidade do que as demais transições (XIONG et al., 2015).

As emissões observadas ocorrem devido ao fato do  $Pr^{3+}$  absorver um fóton de 470 nm vindo da fonte de excitação, fazendo com que seja excitado do seu nível fundamental ( $3H_4$ ) para o nível excitado  $3P_2$ . A partir do nível  $3P_2$  pode ocorrer a emissão em 630 nm ou então pode ocorrer perda de energia fazendo com que o elétron passe a ocupar o nível  $3P_0$ . A partir do nível eletrônico  $3P_0$ , podem ocorrer às emissões em 620 nm, 650 nm, 710 nm e 735 nm. Outra possibilidade seria ocorrer perda de energia do nível  $3P_0$  fazendo com que o  $1D_2$  seja preenchido e a partir deste, ocorrem as emissões em 600 nm e 690 nm (CHEN et al., 2010; XIONG et al., 2015).

Os resultados obtidos na fluorescência indicam que o LNO:Pr3% poderia ser utilizado para aplicações relacionadas a geração de luz branca usando fontes comerciais de luz azul, tais como LED's, como fonte de excitação.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS/ CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho demonstram que a síntese das cerâmicas LNO e LNO:Pr3% foi obtida com sucesso. Como observado pelos resultados de difração de raios-X seguido do refinamento de Rietveld, houve uma grande concordância entre o perfil de difração das amostras em relação ao padrão do ICSD não sendo observada a formação de fases secundárias.

A espectroscopia de impedância demonstrou que a inserção dos íons  $Pr^{3+}$  e  $Pr^{4+}$  aumentou de forma significativa a condutividade da matriz LNO, sendo que esse comportamento pode ser explicado pela geração de defeitos que ocorrem na estrutura cristalina dos materiais para compensar a carga positiva resultante da entrada dos íons dopantes. Os resultados obtidos indicam que a amostra LNO:Pr3% poderia ser um candidato interessante para célula a combustível de óxido sólido (SOFC).

Com relação ao estudo de fluorescência down-conversion, foi possível observar que apenas a amostra dopada apresentou emissão nas condições empregadas no estudo e que esta demonstrou bandas de emissão bem definidas na região do vermelho relacionadas às transições eletrônicas que ocorrem entre os orbitais 4f do íon  $Pr^{3+}$ . A partir desses resultados, seria possível utilizar o LNO:Pr3% para a geração de luz branca utilizando fontes comerciais de luz azul como fonte de excitação.

## REFERÊNCIAS

- CAO, Y. et al. Effect of Ce and Yb co-doping on conductivity of LaNbO<sub>4</sub>. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 34, n° 8, p. 1981–1988, ago. 2014.
- CHEN, J. et al. Synthesis and spectral property of Pr<sup>3+</sup>-doped tungstate deep red phosphors. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 492, n° 1–2, p. 667–670, mar. 2010.
- CHENG, X. et al. Upconversion Luminescence and Optical Temperature-Sensing Properties of LaNbO<sub>4</sub>:Yb<sup>3+</sup>/Er<sup>3+</sup> Phosphors. **Journal of Electronic Materials**, v. 49, n° 1, p. 518–523, 7 jan. 2020.
- COOPER, S. J.; BRANDON, N. P. **Solid Oxide Fuel Cell Lifetime and Reliability**. [s.l.: s.n.].
- DA SILVA MARQUES, N. et al. Effect of ytterbium amount on LaNbO<sub>4</sub>:Tm<sup>3+</sup>,Yb<sup>3+</sup> nanoparticles for bio-labelling applications. **Advances in Medical Sciences**, v. 65, n° 2, p. 324–331, set. 2020.
- ĐAČANIN FAR, L. et al. Luminescence temperature sensing in visible and NIR spectral range using Dy<sup>3+</sup> and Nd<sup>3+</sup> doped YNbO<sub>4</sub>. **Sensors and Actuators A: Physical**, v. 270, n° 2010, p. 89–96, fev. 2018.
- DO CARMO, F. F. et al. White light upconversion emission and color tunability in Er<sup>3+</sup>/Tm<sup>3+</sup>/Yb<sup>3+</sup> tri-doped YNbO<sub>4</sub> phosphor. **Journal of Luminescence**, v. 204, n° August, p. 676–684, dez. 2018.
- HU, J. et al. Efficient near-infrared downconversion and energy transfer mechanism in Pr<sup>3+</sup>/Yb<sup>3+</sup> co-doped Na<sub>5</sub>Y<sub>9</sub>F<sub>32</sub> single crystals. **Journal of Luminescence**, v. 205, n° July 2018, p. 500–507, jan. 2019.
- MAGRASÓ, A. et al. Cathode compatibility, operation, and stability of LaNbO<sub>4</sub>-based proton conducting fuel cells. **Solid State Ionics**, v. 262, p. 382–387, set. 2014.
- NAVEED, M. et al. Conduction mechanism and impedance spectroscopy of (MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)<sub>x</sub>/CuTi-1223 nanoparticles-superconductor composites. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 712, p. 696–703, jul. 2017.
- RONDA, C. R. **Luminescence from theory to applications**. Germany: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co., 2008.
- VADIM F. LVOVICHWILEY, A. J. Impedance Spectroscopy: **Applications to Electrochemical and Dielectric Phenomena**. [s.l.] John Wiley & Sons, Inc., 2012.

WANG, X. et al. Can temperature be accurately sensed by red-green emission ratio in  $\text{YNbO}_4 : \text{Ho}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$  phosphor under 980 nm excitation? **Journal of Alloys and Compounds**, v. 754, p. 222–226, jul. 2018.

WANG, X. et al. Optical transition and luminescence properties of  $\text{Sm}^{3+}$  - doped  $\text{YNbO}_4$  powder phosphors. **Journal of the American Ceramic Society**, v. 103, n° 2, p. 1037–1045, 11 fev. 2020.

XIONG, F. B. et al. Luminescent properties of deep red light-emitting phosphors  $\text{NaGd}(\text{WO}_4)_2:\text{Pr}^{3+}$  for blue LED. **Optical Materials**, v. 42, p. 394–398, abr. 2015.



# APLICAÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA PREDIÇÃO DO NOVO COVID-19: ANÁLISE DE CONDIÇÕES PREEXISTENTES

## APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO PREDICT THE NEW COVID-19: ANALYSIS OF PRE-EXISTING CONDITIONS

**Wellington Dantas de Almeida**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil  
*wellingtondantas.almeida@gmail.com*

**Francisco José Alves Aquino**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil  
*fcoalves-aq@ifce.edu.br*

**Ajalmar Rêgo da Rocha Neto,**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil  
*ajalmar@gmail.com*

---

### RESUMO

Neste artigo usamos os dados de 560 mil humanos que tiveram o novo coronavírus pelo mundo, e analisamos a possibilidade das mesmas precisarem ser internadas na UTI (Unidade de Terapia Intensiva) com o uso de inteligência artificial. O resultado é inédito por levar em consideração somente o histórico de doenças preexistentes (comorbidades) e a idade dos pacientes. Foram utilizados seis modelos de classificação para prever pacientes potenciais, e na avaliação da comparação entre os algoritmos, encontramos um modelo com acurácia de 83,31%.

**Palavras-chave:** Aplicação de inteligência artificial; Novo Coronavírus, Predição de condições pré-existentes.

### ABSTRACT OR RESUMEN

In this article, we use the dataset of 560 thousand humans who had the new coronavirus around the world, and we analyzed the possibility of them needing to be admitted to the ICU (Intensive Care Unit) using artificial intelligence. The result is unprecedented because it takes into account only the history of pre-existing diseases (comorbidities) and the age of the patients. Six classification models were used to predict potential patients, and when evaluating the comparison between the algorithms, we found an accuracy of 83.31%.

**Keywords:** Application of artificial intelligence; New coronavirus; Prediction under pre-existing conditions.

## 1. INTRODUÇÃO

A Síndrome Respiratória Aguda Grave – Coronavírus 2 (SARS-CoV-2), também conhecida somente por novo Coronavírus (COVID-19 ou 2019-nCoV). Teve sua origem ou disseminação no final de 2019 na Província de Hubei, cidade Chinesa de Wuhan. E foi posteriormente em 11 de março de 2020 caracterizada como pandemia, pela Organização Mundial de Saúde (OMS) (WU et al., 2020). Embora a comunidade científica não tenha evidências, o contato de um humano com um animal exótico pode ter iniciado a pandemia. Sabe-se que esse vírus é transmitido por meio de gotículas respiratórias de um ser humano para outro, e que são as pessoas os responsáveis pelo crescimento exponencial da doença.

Entre os principais sintomas estão falta de ar, tosse e febre. E os primeiros sintomas aparecem após 2 a 14 dias após a contaminação (WHO, 2020). Pessoas com outras doenças preexistentes como pneumonia, asma, diabetes e doenças cardíacas são mais vulneráveis ao vírus e podem ficar gravemente doentes (CHEN et al., 2020).

Medidas preventivas impostas por alguns estados e governos procuraram controlar a disseminação do vírus na etapa inicial ou no caminhar da contaminação, com políticas de paralisação das empresas e fábricas, proibição de viagens, fechamento de instituições de ensino e estabelecimentos não essenciais. Medidas essas que impactam severamente a economia, porém trouxe estabilidade e segurança para as pessoas a médio prazo com o controle da doença o mais precocemente possível. Em 17 de Setembro de 2020, os dados de contaminação eram de aproximadamente 30 milhões de casos confirmados, 20 milhões recuperados e quase 1 milhão de óbitos. Sendo os países com mais casos, respectivamente Estados Unidos da América, Índia, Brasil e Rússia (JHU, 2020). Também sabe que ainda não existem medicamentos ou vacinas clinicamente comprovados para tratar a pandemia de COVID-19, logo o cuidado deve ser necessário continuamente.

Nos últimos meses, vários pesquisadores da área de inteligência artificial apresentaram trabalhos de forma a fornecer suporte na identificação da doença, com base em datasets de imagens pulmonares ou por meio de bases de dados com materiais divulgados por organizações de todo o mundo. Pesquisas para identificar o crescimento exponencial da curva do COVID-19 também foram apresentadas. Entre os trabalhos de aprendizagem profunda (deep learning) podemos citar, o trabalho de (ROSEBROCK, 2020),(OZTURK et al., 2020) e (PANWAR et al., 2020), que detectam COVID-19 em imagens de Raio X. Trabalhos de aprendizado de máquina (Machine Learning) também estão apresentando relevantes contribuições, como em (KHANDAY et al., 2020), (JIBRIL et al., 2020) e (BANDYOPADHYAY; DUTTA, 2020) que são voltados

para prever as curvas de casos, recuperados e óbitos. No trabalho de (FAYYOUMI; IDWAN; ABOSHINDI, 2020) é apresentado um estudo de classificação para prever pacientes potenciais de COVID-19 com base em seus sinais e sintomas com resultados acima de 99%, embora a quantidade de dados utilizado na pesquisa seja pequena, menos de 200 usuários.

Neste artigo visa apresentar uma simulação computacional para prever os pacientes com potenciais de desenvolver o estágio mais agressivo do COVID-19, que é quando o usuário precisa ser encaminhado para uma unidade de terapia intensiva (UTI), e esse estudo teve como base no histórico de doenças preexistentes do paciente. Sabemos que a falta de uma UTI pode impedir a recuperação do paciente com coronavírus, e sabemos que até mesmo nos países mais desenvolvidos do mundo, possuem uma limitada quantidade de UTI 's em situações onde o pico do vírus está em alta. O nosso trabalho apresenta um estudo que pode servir como análise dos grupos de humanos mais vulneráveis ao vírus e inova por prever casos mais graves mesmo sem o paciente ter os sintomas da COVID-19.

Neste artigo, foi realizada a mineração de dados de um dataset com os registros de 560 mil pacientes de todos os lugares. E aplicamos algoritmos de inteligência artificial para treinar e prever resultados com base em casos preexistentes. foram utilizados seis algoritmos para classificação: k-Nearest Neighbors (kNN), Support Vector Machine (SVM), Naive Bayes (NB), Multi-Layer Perceptron (MLP), Logistic Regression (LP) e Random Forests (RF). Esses algoritmos retornam as informações de Acurácia, F1-Score, Precisão e Recall. Com isso, apresentamos alguns objetivos específicos deste artigo: 1. Realizar a coleta, limpeza e manipulação dos dados para extrair as características mais importantes do dataset, de forma a obter maior performance e qualidade dos dados; 2. Apresentar algumas visualizações e análises dos dados e características do dataset e 3. Avaliar o desempenho de cada modelo para escolher o mais apropriado para o nosso problema apresentado.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Coleta e descrição do conjunto de dados

O conjunto de dados foi obtido no site Kaggle (KAGGLE, 2020). Nós usamos os dados disponibilizado pelo governo Mexicano sobre pacientes que tiveram a confirmação ou os sintomas de COVID-19 e que possuem condições preexistentes. O dataset possui 566.602 instâncias (padrões) com 23 atributos, sendo eles:

1. id: Identificação do número do paciente;
2. sexo: Identifica o gênero do paciente, 1 feminino e 2 masculino;
3. patient\_type: Tipo de paciente, 1 para não hospitalizado e 2 para hospitalizado;
4. entry\_date: Informa a data em que o paciente foi ao hospital;
5. date\_symptoms: A data em que o paciente começou a apresentar sintomas;
6. date\_died: A data em que o paciente morreu ou "9999-99-99"significa paciente recuperado;
7. intubed: "1" Indica que o paciente usou ventilador e "2" indica que o paciente não usou, "97", "98", "99"significa não especificado;
8. pneumonia: Indica se o paciente já tem inflamação dos pulmões de ar ou não "1" para sim, "2" para não, "97", "98", "99"significa não especificado;
9. age: Especifica a idade do paciente;
10. pregnancy: Indica se a paciente está grávida ou não, "1" para sim, "2" para não, "97", "98", "99"significa não especificado;
11. diabetes: Indica se o paciente tem diabetes ou não, "1" para sim, "2" para não, "97", "98", "99"significa não especificado;
12. copd: Indica se o paciente tem doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) ou não, "1" para sim, "2" para não, "97", "98", "99"significa não especificado;
13. asthma: Indica se o paciente tem asma ou não, "1" para sim, "2" para não, "97", "98", "99"significa não especificado;
14. inmsupr: Indica se o paciente é imunossuprimido ou não, "1" para sim, "2" para não, "97", "98", "99"significa não especificado;
15. hypertension: Indica se o paciente tem hipertensão ou não, "1" para sim, "2" para não, "97", "98", "99"significa não especificado;
16. other\_disease: Indica se o paciente tem outra doença ou não, "1" para sim, "2" para não, "97", "98", "99"significa não especificado;
17. cardiovascular: Indica se o paciente tem doença relacionada ao coração ou aos vasos sanguíneos, "1" para sim, "2" para não, "97", "98", "99"significa não especificado;
18. obesity: Indica se o paciente é obeso ou não, "1" para sim, "2" para não, "97", "98", "99"significa não especificado.

19. renal\_chronic: Indica se o paciente tem doença renal crônica ou não, "1" para sim, "2" para não, "97", "98", "99" significa não especificado;
20. tobacco: Indica se se o paciente é usuário de tabaco, "1" para sim, "2" para não, "97", "98", "99" significa não especificado;
21. contact\_other\_covid: Indica se o paciente teve contato com outro paciente com COVID-19;
22. covid\_res: Indica a confirmação para COVID-19, "1", para não, "2" para sim e "3" em espera;
23. icu: Indica se o paciente foi admitido em uma Unidade de Terapia Intensiva (UTI), "1" para sim, "2" para não, "97", "98", "99" significa não especificado

Como o conjunto de dados possui muitos padrões com valores faltantes, esses padrões foram excluídos do dataset.

## 2.2. Avaliação do Dataset

Neste dataset têm atributos que não foram utilizados na nossa análise: id; entry\_date; date\_symptoms; date\_died e sex. Os valores de "97", "98", "99" foram substituídos por valores nulos e excluídos, porque não representam informação útil. Porém, no atributo de age (idade), os valores não foram modificados, porque realmente uma pessoa pode ter a idade de 97, 98 ou 99 anos.

Na Tabela 1 é mostrada as comorbidades mais comuns entre os humanos que estão na pesquisa. E notamos que hipertensão, obesidade, pneumonia e diabetes são os mais comuns. Na Figura 1 é mostrada a quantidade de doenças preexistentes dos humanos com o vírus. É fácil notar que a maioria tem entre 1 a 3 doenças preexistentes.

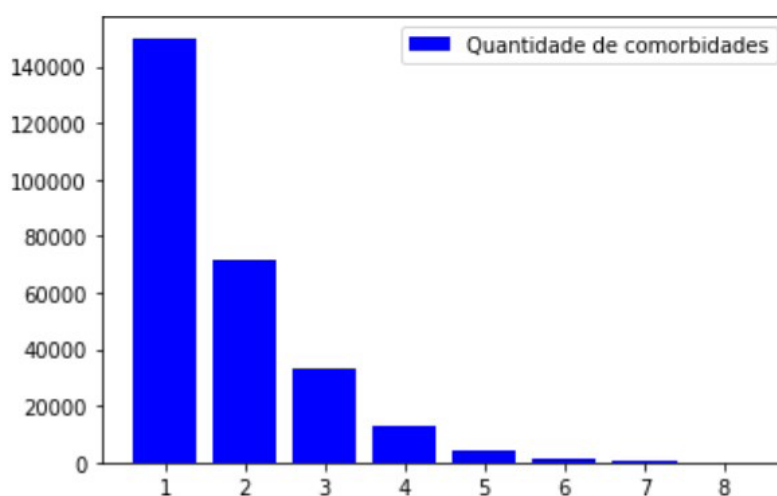
**Tabela 1** — Comorbidade mais comum entre os humanos que apresentaram o COVID-19

Comorbidade	Quantidade
Hipertensão	92.508
Obesidade	92.272
Pneumonia	88.175
Diabetes	70.831
Tabaco	48.014
Asma	18.026
Outras doenças	17.084
Doença Cardiovascular	12.775
Doença renal	11.250
Doença pulmonar crônica	9.130
Imunossuprimido	8.978
Gravidez	4.063

### 2.3. Algoritmos de Classificação

A classificação é o processo relacionado à categorização de um conjunto de dados (padrão ou amostra) estruturados. E o principal objetivo é categorizar cada padrão em um determinado tipo de grupo (classe). Geralmente utilizamos modelos de aprendizagem de máquina devido à sua poderosa eficiência em enquadrar padrões facilmente e com precisão (PALMER; JIMÉNEZ; GERVILLA, 2011). No artigo foram empregados seis algoritmos de classificação de padrões, que são utilizados para testar a eficiência de cada modelo.

**Figura 1** — Representação da quantidade de comorbidades preexistentes.



## **SVM - Support Vector Machine**

É um algoritmo simples e eficaz. É utilizado para classificação a fim de aumentar a correção preditiva, excluindo o sobreajuste aos dados (overfitting). O algoritmo estabelece o melhor hiperplano no espaço multidimensional para reduzir o erro. É mais aplicável em grandes espaços dimensionais, onde a fronteira da partição entre as classes é definida claramente (LI et al., 2015).

## **NB - Naive Bayes**

É um simples algoritmo de classificação probabilístico que se baseia na teoria de Bayes:

$$\frac{P(A|B)P(B)}{P(A)}$$

Naive Bayes é um tipo de algoritmo de classificação de dados usado para discriminar instâncias de conjuntos de dados com base em características ou atributos especificados (SEKA et al., 2019).

## **KNN - k-Nearest Neighbor**

É um dos algoritmos mais fáceis de testar e implementar em aprendizagem de máquina. Na classificação K-NN, o resultado da predição é uma associação onde os padrões de dados são classificados por uma pluralidade de votos de seus vizinhos, isto é, com o padrão de dados sendo atribuída à classe mais comum entre seus K vizinhos mais próximos (RICO- JUAN; VALERO-MAS; CALVO-ZARAGOZA, 2019).

## **MLP - Multilayer Perceptron**

MLP é baseado em uma rede neural, e pode ser usado para prever problemas de classificação e regressão. O modelo é construído fazendo relacionamentos entre entradas e saídas e computando os pesos necessários. É composto por um conjunto de neurônios em diferentes camadas com um conjunto de pesos adaptativos (FERNÁNDEZ-ÁLVAREZ et al.,2019). O número de camadas ocultas determina se o modelo de aprendizado de máquina é profundo ou superficial.



## **LR - Logistic Regression**

É um dos algoritmos mais amplamente utilizados para resolução de problemas em diferentes escalas. É uma análise preditiva que calcula a probabilidade de uma variável dependente com base nas observações de um ou mais variáveis independentes (SEKA et al., 2019).

## **RF - Random Forests**

O algoritmo de RF é uma técnica de aprendizagem para classificação de mineração de dados e também para tarefas de regressão. O algoritmo se baseia em construir uma infinidade de árvores de decisão no momento do treinamento e na saída (JIBRIL et al., 2020). É muito aplicado em projetos com muita possibilidade de overfitting no conjunto de dados de treinamento.

## **2.4. Métricas de desempenho**

As métricas de desempenho apresentam um papel importante na quantificação de avaliação dos modelos de classificação. De forma geral, tem o objetivo de comparar o rótulo das classes esperada com o resultado das classes de predição. Existem muitas métricas que podem ser calculadas, como a taxa de acerto (2), e conseqüentemente a acurácia que é a média da taxa de acerto de N realizações. No entanto, não é um indicador apropriado para dados desbalanceados. Para dados desbalanceados, podemos utilizar a Precisão, Recall, e F1.

$$\text{Taxa de Acerto} = \frac{\text{Respostas Corretas}}{\text{Total de Respostas}}$$

O Recall (3) é a proporção em que está o número de verdadeiros positivos (TP) e o número de falsos negativos (FN). O recall é intuitivamente a capacidade do classificador de encontrar todas as amostras positivas.

$$\text{Recall} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FN}}$$

A Precisão (4) é a proporção em que está o número de verdadeiros positivos (TP) e o número de falsos positivos (FP). A precisão é intuitivamente a capacidade do classificador de não rotular como positiva uma amostra negativa.

$$\text{Precisão} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FP}}$$

A pontuação F1 (5), é uma medida que combina Precisão e Recall. Pode ser interpretada como uma média ponderada da precisão e recuperação, onde uma pontuação F1 atinge seu melhor valor em 1 e a pior pontuação em 0.

$$\text{F1 score} = \frac{2 \text{ Precisão} * \text{Recall}}{\text{Precisão} + \text{Recall}}$$

### 3. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Todas as etapas de construção do projeto foram implementadas com a linguagem de programação Python. Usamos um sistema em nuvem com 12 GB de RAM e 3,1 GHz de processamento para realizar este trabalho. Utilizamos algumas bibliotecas para manipulação de dados como Numpy e Pandas e o pacote de Machine Learning Scikit- Learning.

Os dados são normalizados e estão sendo divididos na proporção 80:20 onde 80% dos padrões estão sendo usados para treinar o modelo e 20% dos padrões são usados para testar o modelo. O programa executa 20 realizações e tem a cada realização os padrões misturados. Além disso, o sistema desenvolvido usa a validação cruzada de k – Folds para encontrar os melhores parâmetros dos classificadores. O método separa o conjunto de treinamento em k partições e para cada configuração de parâmetro, um classificador é treinado com uma das combinações possíveis. O erro médio de todas as partes de k são calculados para determinar a melhor configuração de parâmetro. Neste artigo, para não aumentar o tempo de treinamento do classificador, são utilizados somente 5 Folds.

### 4. RESULTADOS

Investigamos no nosso trabalho, quais os classificadores poderiam fornecer maior eficiência em detectar se o paciente que teve a confirmação ou os sintomas

de COVID-19, poderiam desenvolver a forma mais agressiva da doença e precisar ser internado em uma UTI. As avaliações de desempenho para os modelos de classificação são apresentadas na Tabela 2. É claramente mostrado que a classificação com Logistic Regression obteve o melhor desempenho, com acurácia de 83,31%. O classificador Support Vector Machine obteve 78,10%. k-Nearest Neighbor, Naive Bayes e Random Forests alcançaram resultados acima de 73% de acurácia. O modelo Multi-Layer Perceptron mostrou não ser o mais adequado para classificar o problema.

Investigamos também, quais as comorbidades que estão associadas com mais internações na UTI ou no óbitos dos pacientes com COVID-19. Além das comorbidades, utilizamos nesta investigação a idade dos pacientes. As avaliações são apresentadas na Tabela 3. É mostrado que a comorbidade pneumonia tem grande influência no resultado 53.75%, não é novidade que o fator idade também influencia no agravamento 33.59%. Fatores como diabetes 3.79% e obesidade 2.20% também exercem influência no resultado. Outros fatores podem estar associados porém em menor proporção.

**Tabela 2** — Métricas de avaliação dos algoritmos de classificação

Algoritmo	Acurácia (%)	F1 score	Recall	Precisão
k-Nearest Neighbor	73.42	0.73	0.73	0.74
Naive Bayes	74.90	0.73	0.74	0.79
Logistic Regression	83.31	0.83	0.83	0.83
Random Forests	76.93	0.76	0.76	0.76
Multi-Layer Perceptron	68.60	0.64	0.68	0.75
Support Vector Machine	78.10	0.64	0.68	0.78

**Tabela 3** — Avaliação das comorbidades que mais influenciam em internação de UTI e ou no óbitos dos pacientes.

Comorbidade	Sintoma (%)
Pneumonia	53.75
Idade	33.59
Diabetes	03.79
Obesidade	02.20
Imunossuprimido	01.50
Outras doenças	01.35
Hipertensão	01.12
Doença renal	00.64
Doença Cardiovascular	00.52
Asma	00.49
Tabacco	00.45
Doença pulmonar crônica	00.36
Gravidez	00.20

## 5. CONCLUSÃO

Várias medidas estão sendo utilizadas para diminuir a disseminação do COVID-19 no mundo e no Brasil especificamente. Os dados foram analisados para auxiliar os órgãos competentes a prever com antecedência os pacientes mais vulneráveis, com o objetivo final de mostrar os grupos que mais podem precisar de cuidados preventivos. Vários modelos de predição foram aplicados, e embora as métricas não tenham sido elevadas, levou em consideração somente os dados de doenças preexistentes. Os algoritmos de LR e SVM tiveram os melhores resultados, com acurácia respectivamente iguais a 83,31% e 78,10%. Entre os principais fatores que podem agravar a situação de um paciente estão as comorbidades de pneumonia, diabetes e obesidade, além da idade. De modo geral, a eficiência dos modelos de classificação podem ser melhorados com um número maior de dados e a aplicação de mais abordagens baseados em aprendizagem profunda, de forma que possamos obter mais informações e resultados.

## 6. AGRADECIMENTO

Os autores agradecem à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pelo suporte financeiro.

## REFERÊNCIAS

- BANDYOPADHYAY, S. K.; DUTTA, S. Machine learning approach for confirmation of covid-19 cases: Positive, negative, death and release. **medRxiv**, Cold Spring Harbor Laboratory Press, 2020.
- CHEN, N. et al. Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in wuhan, china: a descriptive study. } **The Lancet**, Elsevier, v. 395, n. 10223, p. 507–513, 2020.
- FAYYOUMI, E.; IDWAN, S.; ABOSHINDI, H. Machine learning and statistical modelling for prediction of novel covid-19 patients case study: Jordan. **Machine Learning**, v. 11, n. 5, 2020.
- FERNÁNDEZ-ÁLVAREZ, J. C. et al. Using a multilayer perceptron in intraocular lens power calculation. **Journal of Cataract & Refractive Surgery**, Elsevier, v. 45, n. 12, p. 1753–1761, 2019.
- JHU. **COVID-19 Map - Johns Hopkins Coronavirus Resource Center**. [S.l.], 2020. Disponível em: <<https://coronavirus.jhu.edu/map.html>>. Acesso em: 17 Setembro. 2020.
- JIBRIL, M. L. et al. Predictive data mining models for novel coronavirus (covid-19) infected patients recovery. sn computer science. **Springer**, v. 1, n. 4, p. 206, 2020.
- KAGGLE. **COVID-19 patient pre-condition dataset**. [S.l.], 2020. Disponível em: <https://www.kaggle.com/tanmoyx/covid19-patient-precondition-dataset>. Acesso em: 17 Setembro. 2020.
- KHANDAY, A. M. U. D. et al. Machine learning based approaches for detecting covid-19 using clinical text data. **International Journal of Information Technology**, Springer, p. 1–9, 2020.
- LI, X. et al. On spectral unmixing resolution using extended support vector machines. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, IEEE**, v. 53, n. 9, p. 4985–4996, 2015.
- OZTURK, T. et al. Automated detection of covid-19 cases using deep neural networks with x-ray images. **Computers in Biology and Medicine**, Elsevier, p. 103792, 2020.
- PALMER, A.; JIMÉNEZ, R.; GERVILLA, E. Data mining: Machine learning and statistical technique. **Knowledge-Oriented Applications in Data Mining**, Prof. Kimito Funatsu (Ed.), p. 373–396, 2011.

PANWAR, H. et al. Application of deep learning for fast detection of covid-19 in x-rays using nconvnet. **Chaos, Solitons & Fractals**, Elsevier, p. 109944, 2020.

RICO-JUAN, J. R.; VALERO-MAS, J. J.; CALVO-ZARAGOZA, J. Extensions to rank-based prototype selection in k-nearest neighbour classification. **Applied Soft Computing**, Elsevier, v. 85, p. 105803, 2019.

ROSEBROCK, A. **Detecting COVID-19 in X-ray images with Keras, TensorFlow, and Deep Learning**. [S.l.], 2020. Disponível em: <<https://www.pyimagesearch.com/2020/03/16/detecting-covid-19-in-x-ray-images-with-keras-tensorflow-and-deep-learning/>>. Acesso em: 17 Setembro. 2020.

SEKA, D. et al. Identification of maize (zea mays l.) progeny genotypes based on two probabilistic approaches: Logistic regression and naïve bayes. **Artificial Intelligence in Agriculture**, Elsevier, v. 1, p. 9–13, 2019.

WHO. **Coronavirus disease (COVID-19) pandemic**. [S.l.], 2020. Disponível em: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019>>. Acesso em: 17 Setembro. 2020.

WU, F. et al. A new coronavirus associated with human respiratory disease in china. **Nature**, Nature Publishing Group, v. 579, n. 7798, p. 265–269, 2020





