

UNIVERSIDADE CATÓLICA DOM BOSCO - UCDB  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIAS AMBIENTAIS E  
SUSTENTABILIDADE AGROPECUÁRIA

CELSON SOARES COSTA

**VISÃO COMPUTACIONAL APLICADA NA REPRODUÇÃO DE  
PEIXES USANDO IMAGENS CAPTURADAS POR  
SMARTPHONES**

TESE

CAMPO GRANDE-MS  
2021

CELSO SOARES COSTA

**VISÃO COMPUTACIONAL APLICADA NA REPRODUÇÃO DE  
PEIXES USANDO IMAGENS CAPTURADAS POR  
SMARTPHONES**

Tese apresentado ao Programa de Pós-Graduação Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária da Universidade Católica Dom Bosco - UCDB - Área de concentração: Sustentabilidade Ambiental e Produtiva Aplicada ao Agronegócio e Produção Sustentável (Interface entre Produção Agropecuária e Visão Computacional), como requisito parcial para a obtenção do título de Doutorado.

Orientador: Prof. Dr. Hemerson Pistori  
Universidade Católica Dom Bosco - UCDB

Coorientador: Prof. Dr. Odair Diemer  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul - IFMS

CAMPO GRANDE-MS  
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Universidade Católica Dom Bosco  
Bibliotecária Mourâmise de Moura Viana - CRB-1 3360

C837v Costa, Celso Soares

Visão computacional aplicada na reprodução de peixes usando imagens capturadas por smartphones/ Celso Soares Costa ; Orientação Profº Dr. Hemerson Pistori. -- Campo Grande, MS : 2021.  
141 f. : il. ; 30 cm.

Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária) -Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande - MS, 2021

Inclui bibliografia da p. 96 até a p. 105

1. Visão computacional. 2. Reprodução - Peixes. 3. Psicultura. 4. Ciências ambientais - Agropecuária. 5. Sustentabilidade agropecuária I.Pistori, Hemerson.  
II. Título.

CDD: Ed. 21 -- 639.3



UNIVERSIDADE CATÓLICA DOM BOSCO  
*Inspira o futuro*

## **Visão Computacional Aplicada na Reprodução de Peixes usando Imagens Capturadas por Smartphones**

**Autor:** Celso Soares Costa

**Orientador:** Prof. Dr. Hemerson Pistori

**Coorientador:** Prof. Dr. Odair Diemer

**TITULAÇÃO:** Doutor em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária

**Área de Concentração:** Sustentabilidade Ambiental e Produtiva.

APROVADO em 30 de junho de 2021

A presente defesa foi realizada por webconferência. Eu, Hemerson Pistori, como presidente da banca assinei a folha de aprovação com o consentimento de todos os membros, ainda na presença virtual destes.

Prof. Dr. Hemerson Pistori – UCDB

Prof. Dr. Odair Diemer – IFMS

Prof. Dr. Marco Hiroshi Naka – IFMS

Prof. Dr. Rodrigo Gonçalves Mateus - UCDB

Prof. Dr. Jonathan de Andrade Silva – UFMS

Prof. Dr. Adilson Reidel - IFPR

*Este trabalho é dedicado em primeiro lugar a Jesus Cristo, que iluminou minha vida sempre. À Marisa, minhas filhas Daianny e Daisy, e netas Ayla e Lyara e neto Diego. Por fazerem parte de minha vida e pela paciência e compreensão durante as minhas ausências nesses últimos anos. Também dedico aos meus irmãos Célio e Carlos Henrique e seus familiares e em memória de meus pais.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à Deus, por permitir que eu concluísse mais esta importante etapa de minha vida.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Hemerson Pistori, por aceitar ser meu orientador, auxiliando-me com conselhos, dicas e sugestões. Agradeço também ao meu co-orientador, o Prof. Dr. Odair Diemer, pelo incentivo durante toda a orientação.

Agradeço à Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanda Alice Garcia Zanoni, cujas sábias contribuições moldaram meu conhecimento frente aos desafios das pesquisas. Também agradeço aos professores Dr. Wesley Gonçalves Nunes e Dr. José Marcatto, que, nos momentos mais difíceis desta jornada, fizeram tanto por minha aprendizagem e formação, disponibilizando-me o laboratório de GEOMÁTICA (UFMS) por eles geridos.

Agradeço à parceira de produções científicas, amiga Lucimar Curvo, que me auxiliou em muitos trabalhos, e a seu esposo, Rodolfo, pela amizade e incentivo. Ao professor, tão amigo, Dr. Reginaldo Brito da Costa; muito obrigado por fazer parte de minha vida, com sua acolhida, conselhos e norteamentos. Aos pesquisadores Mario Araujo de Carvalho, Higor Henrique Picoli Nucci e Ronivaldo Olimpio Verrillo, que me ajudaram nessa jornada.

Agradeço aos Professores: Dr. Altevir Signor e Dr. Wilson Rogério Boscol - exemplos de credibilidade e profissionalismo - por todas as dicas, ensinamentos e incentivos no decorrer da pesquisa, bem como pela disponibilização de uma estrutura apropriada à consecução dos experimentos. Agradeço à Piscicultura Venites, pela cessão de local e de materiais para a realização dos estudos. Agradeço ao Grupo de Estudos de Manejo na Aquicultura (GEMAQ) e à Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, campus Toledo-PR, pela viabilização dos estudos laboratoriais e pelo suporte técnico.

Aos integrantes do Grupo de Pesquisa e Desenvolvimento (INOVISAO<sup>1</sup>) e à Universidade Católica Dom Bosco (UCDB)

Ao Centro Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de Doutorado

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Mato Grosso do Sul (IFMS), que, em face de minha demanda com relação à escrita desta tese, concedeu-me o devido afastamento das atividades laborais.

**Muito obrigado ...**

---

<sup>1</sup><http://inovisao.weebly.com/>

*"Aquele que habita no esconderijo do Altíssimo,  
à sombra do Onipotente descansará.  
Direi do Senhor: Ele é o meu Deus,  
o meu refúgio, a minha fortaleza,  
e nele confiarei."  
(Bíblia Sagrada, Salmos 91:1,2)*

## RESUMO

COSTA, Celso Soares. Visão Computacional aplicada na Reprodução de Peixes usando Imagens Capturadas por Smartphones. 2021. 127 f. Tese - Programa de Pós-Graduação Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária, Universidade Católica Dom Bosco - UCDB. Campo Grande-MS, 2021.

O Brasil dispõe de uma enorme capacidade produtiva para a aquicultura, devido a fatores naturais propícios, como clima, pluviosidade, hidrografia, vegetação, relevo, além de múltiplos recursos naturais, o que favorece o país a se tornar um dos principais fornecedores mundiais de alimentos, sobretudo de peixes. Estes são excelentes fontes de proteínas, vitaminas e ácidos graxos, com importante respaldo econômico para a indústria alimentícia ao redor do mundo. Na piscicultura, uma das demandas mais fundamentais aos incubatórios é a contagem precisa, que, por ser realizada manualmente, trata-se de uma atividade muito trabalhosa, tediosa, demorada e fatigante, que requer um profissional experiente para executá-la. Neste contexto, para o desenvolvimento do processo reprodutivo da piscicultura, é importante que as espécies de peixes se mantenham com a máxima eficiência, produzindo ovócitos, larvas e, conseqüentemente, alevinos de qualidade. Diante disso, a tese ora apresentada aduz a hipótese central de que os sistemas de visão computacional, mediante imagens captadas de *smartphones*, podem ser explorados para fins de detecção e contagem de ovócitos e de larvas no processo reprodutivo de peixes. Inicialmente, este estudo procede a uma abordagem específica acerca dos métodos para contagem, em placas de Petri, com imagens capturadas por *smartphones*, de ovócitos de peixes da espécie *Twospot astyanax* (*Astyanax bimaculatus*). Usou-se o *Simple Linear Iterative Clustering* (SLIC) para dividir as imagens em grupos de pixels (*superpixels*). Em seguida, com base nas características de cor e espaço, as imagens foram classificadas em fundo claro, fundo escuro, sujeira ou ovócitos, por algoritmos de aprendizado de máquina. Destes, cinco tipos foram testados: máquinas de vetores de suporte (SVM), árvores de decisão usando o algoritmo J48 e *Random Forest*, K-vizinhos mais próximos (K-NN) e Naive Bayes. Em uma segunda abordagem, foram conduzidas análises extensas e robustas de 28 métodos baseados em redes neurais convolucionais (CNN), para a detecção e contagem de larvas de tilápia (*Oreochromis niloticus niloticus* (Linnaeus, 1758)), em placas de *Petri*. Os experimentos foram realizados na região oeste do Paraná, Brasil, com o auxílio de *smartphones* posicionados em um protótipo desenvolvido especialmente para suportar esta aplicação. Construiu-se um conjunto de dados composto por 301 imagens e 6,195 larvas. Essas imagens foram divididas por meio de validação cruzada estratificada, em cinco dobras. Por último, propôs-se, uma abordagem para contagem e localização de larvas de tilápia, com o aprimoramento do mapa de características e no refinamento multi-estágios do mapa de confiança. Verificou-se que os modelos de aprendizagem de máquina podem ser implementados em sistema de visão computacional, destacando que os procedimentos apresentados constituem uma ferramenta valiosa na detecção e contagem de ovócitos e larvas de tilápia. Assim, as contribuições obtidas promovem avanços significativos, podendo ser aplicadas com sucesso na área da piscicultura.

**Palavras-chave:** Contagem no processo reprodutivo. *Smartphones*. Ovócitos e larva de peixes. Piscicultura de precisão. Aprendizado profundo.



## ABSTRACT

COSTA, Celso Soares. Computer Vision applied to Fish Reproduction using Images Captured by Smartphones. 2021. 127 f. Doctoral dissertation – Doctorate Candidate of Graduate Program Environmental Sciences and Agricultural Sustainability, Dom Bosco Catholic University - UCDB. Campo Grande-MS, 2021.

Brazil has an enormous productive capacity for aquaculture, due to favorable natural factors such as climate, rainfall, hydrography, vegetation, relief, besides multiple natural resources, which favors the country to become one of the main global suppliers of food, especially fish. These are excellent sources of proteins, vitamins, and fatty acids, with important economic support for the food industry around the world. In fish farming, one of the most fundamental demands of hatcheries is accurate counting, which, since it is performed manually, is a very laborious, tedious, time-consuming activity that requires an experienced professional to perform. In this context, for the development of the reproductive process in fish farming, the fish species must be kept with maximum efficiency, producing oocytes, larvae, and, consequently, quality fingerlings. Therefore, this thesis presents the central hypothesis that computer vision systems, using images captured from smartphones, can be exploited for the detection and counting of oocytes and larvae in the reproductive process of fish. Initially, this study proceeds to a specific approach about the counting methods, in Petri dishes, with images captured by *smartphones*, oocytes from fish of the species *Twospot astyanax* (*Astyanax bimaculatus*). We used Simple Linear Iterative Clustering (SLIC) to divide the images into pixel clusters (*superpixels*). Then, based on color and space characteristics, the images were classified into the light background, dark background, dirt, or oocytes by machine learning algorithms. Of these, five types were tested: support vector machines (SVM), decision trees using the J48 algorithm and Random Forest, K-nearest neighbor (K-NN), and Naive Bayes. In a second approach, extensive and robust analyses of 28 convolutional neural network (CNN) based methods were conducted for the detection and counting of tilapia (*Oreochromis niloticus niloticus* (Linnaeus, 1758)) larvae in *Petri* dishes. The experiments were performed in the western region of Paraná, Brazil, with the aid of smartphones positioned on a prototype developed especially to support this application. A dataset consisting of 301 images and 6,195 larvae was constructed. These images were divided by stratified cross-validation into five folds. Finally, an approach for counting and localizing tilapia larvae was proposed, with the enhancement of the feature map and in the multi-stage refinement of the confidence map. It was verified that machine learning models can be implemented in computer vision systems, highlighting that the presented procedures constitute a valuable tool in the detection and counting of tilapia oocytes and larvae. Thus, the contributions obtained promote significant advances and can be successfully applied in the area of fish farming.

**Keywords:** Counting in the reproductive process. Smartphones. Oocytes and fish larva. Precision fish farming. Deep learning.