

Universidade Federal do Maranhão
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas
Departamento de Informática

Anderson Matheus Passos Paiva

**Segmentação Automática de Contornos em
Imagens de Peixes e Modelagem Tridimensional
para Caracterização Morfológica**

São Luís - MA

2018

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Paiva, Anderson Matheus Passos.

Segmentação automática de contornos em imagens de peixes e modelagem tridimensional para caracterização morfológica / Anderson Matheus Passos Paiva. - 2018.
42 f.

Orientador(a): Anselmo Cardoso de Paiva.

Monografia (Graduação) - Curso de Ciência da Computação, Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, 2018.

1. Detecção de Contornos. 2. Escaneamento 3D. 3. Forma de Peixes. 4. Processamento de Imagens. I. Paiva, Anselmo Cardoso de. II. Título.

Anderson Matheus Passos Paiva

Segmentação Automática de Contornos em Imagens de Peixes e Modelagem Tridimensional para Caracterização Morfológica

Monografia apresentada ao curso de Ciência da Computação da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Dr. Anselmo Cardoso de Paiva

São Luís - MA

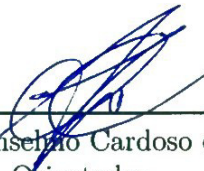
2018

Anderson Matheus Passos Paiva

Segmentação Automática de Contornos em Imagens de Peixes e Modelagem Tridimensional para Caracterização Morfológica

Monografia apresentada ao curso de Ciência da Computação da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação.

Trabalho aprovado em ~~20~~ 23 de Janeiro de 2018



Prof. Dr. Anselmo Cardoso de Paiva
Orientador
Universidade Federal do Maranhão



Prof. Dr. João Dallyson Sousa de Almeida
Examinador
Universidade Federal do Maranhão



Profa. Me. Vandecia Rejane Monteiro
Fernandes
Examinadora
Universidade Federal do Maranhão

São Luís - MA
2018

À minha mãe.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, ao ser superior.

Em seguida, agradeço a toda a minha família pelo apoio e incentivo dados, em especial a minha mãe, que sempre me apoiou em toda a jornada até aqui, e meu irmão, pelo apoio moral e ortográfico.

Agradeço a todos os amigos e companheiros de graduação que de alguma forma contribuíram com a minha formação. De modo especial, a Daniela, Polyana, Jessica e Alexandre.

Um agradecimento também a todos os professores de graduação pelos ensinamentos e sabedoria.

Por fim, agradeço ao professor Anselmo pela orientação, paciência e confiança.

*"Na luz que se propaga à nossa frente
Em direção a um futuro que ninguém conhece
Essa caminhada se tornará uma lenda"
(El Dorado - EXO)*

Resumo

Este trabalho propõe uma metodologia, utilizando conceitos de processamento digital de imagens, para a segmentação automática de contornos em imagens de peixes, contribuindo assim com estudos posteriores focados em detectar variações em sua forma corporal. Esses estudos morfológicos, ou morfométricos, são, em geral, realizados para o gerenciamento da produção pesqueira e sua importância está no fato de que a pesca artesanal é uma das principais atividades econômicas em comunidades brasileiras. Para esse fim, foram utilizadas técnicas de limiarização e de detecção de bordas (em especial, o algoritmo de Canny), que serão validadas com um critério de similaridade baseado no cálculo da distância de Hausdorff. Além da segmentação em imagens bidimensionais, também é proposto um método para representar os organismos de forma tridimensional, com o uso da tecnologia *Structure Sensor* para escaneamento 3D. Os resultados obtidos mostraram que a metodologia obteve bons resultados, com uma similaridade média de 96,58%, porém o método não foi eficaz em segmentar imagens adquiridas de forma incorreta.

Palavras-chaves: Processamento de Imagens, Escaneamento 3D, Detecção de Contornos, Forma de Peixes.

Abstract

This work proposes a methodology, using digital image processing concepts, for the automatic segmentation of contours in fish images, thus contributing to subsequent studies focused on detecting variations in their body shape. These morphological or morphometric studies are generally performed for the management of fishery production, and its importance is that artisanal fishing is one of the main economic activities in Brazilian communities. For this purpose, thresholding and border detection techniques (in particular, the Canny algorithm) were used, which will be validated with a similarity criterion based on the Hausdorff distance calculation. In addition to segmentation in two-dimensional images, a method for representing organisms in three-dimensional form is also proposed, using the Structure Sensor technology for 3D scanning. The results showed that the methodology obtained good results, with a mean similarity of 98.38 %, but the method was not effective in images that were not acquired correctly.

Keywords: Image Processing. 3D Scanning. Contours Detection. Fish Shape.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Método manual de obtenção de contorno de peixes	14
Figura 2 – Anatomia externa de um peixe ósseo	18
Figura 3 – Diferentes formas corporais encontradas em peixes	19
Figura 4 – Representação do espaço de cores HSV	21
Figura 5 – Fluxograma do método de Otsu	23
Figura 6 – Metodologia para a extração de contorno de peixes em imagens 2D.	24
Figura 7 – Resultado da conversão da imagem para o canal de saturação	25
Figura 8 – Exemplo de imagem binarizada	26
Figura 9 – Metodologia para a reconstrução da forma de peixes em 3D.	27
Figura 10 – Tecnologia utilizada para o escaneamento 3D	27
Figura 11 – Scanner em funcionamento no iPad	28
Figura 12 – Distância de Hausdorff entre dois conjuntos genéricos A e B	30
Figura 13 – Distância de Hausdorff entre dois contornos A e B	30
Figura 14 – Distância de Hausdorff entre dois contornos em representações matriciais	31
Figura 15 – Resultado da segmentação de contorno automática e manual de uma imagem	32
Figura 16 – Contorno obtido de forma automática em uma imagem	33
Figura 17 – Primeiro exemplo de erro da segmentação automática	34
Figura 18 – Segundo exemplo de erro da segmentação automática	34
Figura 19 – Resultado da modelagem 3D para um organismo em ângulo vertical	35
Figura 20 – Resultado da modelagem 3D para um organismo em visão lateral	36

Lista de tabelas

Tabela 1 – Resultados de SBDH para a segmentação com todas as imagens	33
Tabela 2 – Resultados de SBDH para a segmentação com as imagens adquiridas de forma correta	35

Lista de abreviaturas e siglas

2D	Two-dimension(al)
3D	Three-dimension(al)
ANN	Artificial Neural Network
DH	Distância de Hausdorff
HSV	Hue, Saturation and Value
PDI	Processamento Digital de Imagens
ResNet	Fully Convolutional Residual Network
RGB	Red, Blue and Green
SBDH	Similaridade Baseada na Distância de Hausdorff
UEMA	Universidade Estadual do Maranhão

Sumário

1	INTRODUÇÃO	13
2	TRABALHOS RELACIONADOS	16
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
3.1	Anatomia dos peixes	18
3.2	Processamento de Imagens	20
3.2.1	Espaço de cores e HSV	20
3.2.2	Segmentação por limiarização (<i>thresholding</i>) e o algoritmo de Otsu	21
3.2.3	Segmentação por detecção de bordas e o algoritmo de Canny	23
4	MATERIAIS E MÉTODOS	24
4.1	Extração de contornos de peixes em imagens 2D	24
4.1.1	Pré-processamento e subtração do fundo por limiarização	25
4.1.2	Segmentação das bordas e extração do contorno	26
4.2	Caracterização da forma de peixes em 3D	26
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5.1	Distância de Hausdorff e Similaridade Baseada na Distância de Hausdorff	29
5.2	Segmentação 2D	31
5.3	Modelagem 3D	35
6	CONCLUSÃO	37
	REFERÊNCIAS	38

1 Introdução

A ictiofauna¹ brasileira abriga espécies de peixes de grande importância comercial. Em especial, a pesca é uma atividade muito praticada no litoral do Maranhão, já que contribui com até 95% da produção pesqueira marinha do estado e 60% da produção do Brasil (MONTELES; FUNO; CASTRO, 2010). As pescarias artesanais fornecem alimento e emprego para muitas populações humanas, além de que muitos trabalhadores dependem exclusivamente da pesca artesanal, tornando-se assim evidente a importância social e econômica dessa atividade na região (FREITAS et al., 2016).

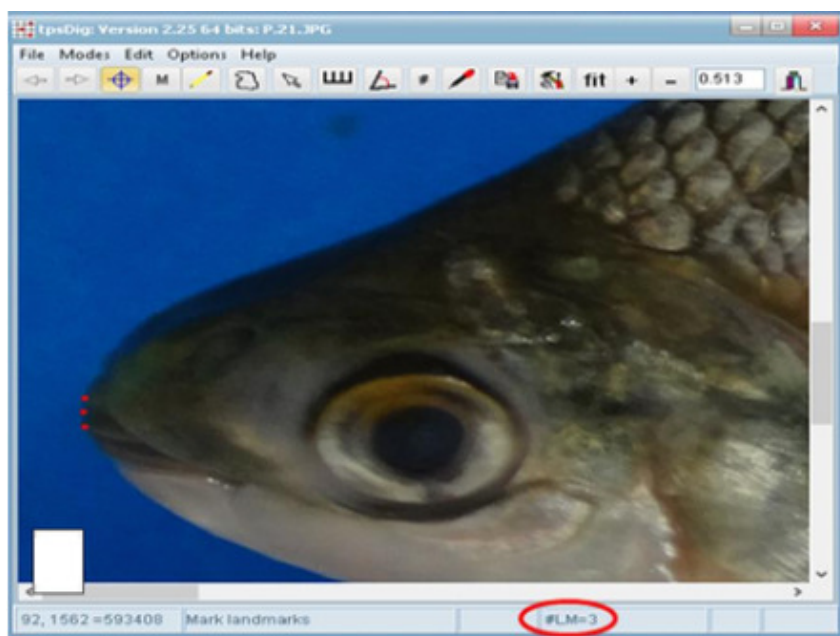
Desta forma, é necessário ampliar o estudo das espécies visando conhecer informações como mortalidade, crescimento e maturação sexual para possíveis medidas de conservação da biodiversidade costeira e marinha e, portanto, contribuir com o gerenciamento e regulamentação da produção pesqueira (ARAÚJO et al., 2011), uma vez que a realização da pesca na época da reprodução dos peixes é capaz de afetar a sobrevivência dos recursos pesqueiros em muitas regiões (SEIXAS et al., 2014).

Na tentativa de avaliar as variações de formas em diversos organismos, os estudos em Biologia utilizam frequentemente a morfometria, que visa identificar as métricas obtidas das diferentes formas, com enfoque nas variações anatômicas e/ou descrição ecológica das espécies. A análise das variáveis morfométricas da composição ictiofaunística de uma área fornece importantes subsídios ao dimensionamento dos estoques e à administração dos recursos (SOUSA; CASTRO, 2003).

Nesse contexto, pesquisadores da área de Recursos Aquáticos e Pesca da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) desenvolveram uma metodologia para a análise da forma das espécies de peixes *Prochilodus spp.* (SILVA, 2017). Para isso, é necessário obter o contorno da forma dos organismos através de imagens digitais, obtendo assim um conjunto discreto de pontos. Contudo, atualmente esse processo é feito de forma manual: com o auxílio de um programa de edição de imagens, o especialista vai marcando pontos até representar o contorno desejado, como é ilustrado na Figura 1. Nesse contexto, esse trabalho propõe uma metodologia para a extração automática de contornos de peixes em imagens bidimensionais para auxiliar especialistas no estudo das variações da forma corporal desses organismos, já que automatizar esse processo o torna mais rápido e prático.

¹ O conjunto de peixes de uma região ou ambiente.

Figura 1 – Método manual de obtenção de contorno de peixes



Fonte – Silva (2017)

Além disso, também está prevista na metodologia uma representação tridimensional da estrutura corporal externa dos peixes, já que os organismos, uma vez coletados, são submetidos a um processo de catalogação, em que são, por fim, abertos, em geral através de uma incisão abdominal, para a análise das estruturas internas, como gônadas e tecido muscular. Dessa forma, ou também por deformação corporal pelo tempo, o peixe acaba sofrendo mudanças que impossibilitam estudos posteriores. Assim, um modelo 3D do organismo não representa apenas algo estético: também pode contribuir com estudos de pesquisadores.

Sendo assim, o objetivo geral deste trabalho é desenvolver uma metodologia, com o uso de técnicas de processamento de imagens e modelagem 3D, para caracterizar a forma corporal de peixes, para uma posterior análise de especialistas acerca dos diferentes estádios de maturação gonadal² dos organismos.

Destarte, são tomados como objetivos específicos:

- Identificar técnicas de processamento de imagens adequadas para a segmentação de imagens 2D e reconstruir o contorno da forma de peixes;
- Utilizar a tecnologia *Structure Sensor* para escaneamento 3D e realizar assim a reconstrução de formas de peixes;
- Validar a metodologia adotada através de métricas de semelhança.

² Etapas de desenvolvimento dos órgãos sexuais dos peixes, as gônadas.

O presente trabalho está dividido em seis capítulos, sendo este o capítulo introdutório. A seguir, no capítulo 2, serão apresentados alguns trabalhos que também utilizaram conceitos de segmentação de imagens aplicados na área de Engenharia da Pesca e afins, além de trabalhos que utilizaram métodos de representação tridimensional para caracterizar formas de organismos.

Já no capítulo 3, são apresentados os principais fundamentos utilizados na aplicação do trabalho, sendo esse dividido em quatro seções: na primeira, são explanados alguns conceitos importantes acerca da anatomia, forma e coloração dos peixes; na segunda, é abordada toda a fundamentação teórica utilizada na área de processamento de imagens, como a limiarização, espaço de cores HSV e o algoritmo de Canny; na terceira são apresentadas as métricas utilizadas na validação da segmentação proposta; e na quarta seção são apresentados conceitos de modelagem 3D.

Discutida toda a fundamentação teórica necessária, no capítulo 4, são explicados os métodos e materiais utilizados para a extração de contorno e caracterização da forma tridimensional dos peixes, que terão seus resultados avaliados e discutidos no capítulo 5. Por fim, o capítulo 6 conclui o trabalho, com suas considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

2 Trabalhos relacionados

Neste capítulo, são apresentados alguns trabalhos que utilizaram técnicas de segmentação de imagens aplicadas na área das Ciências Aquáticas e afins, além de abordagens com o intuito de caracterizar formas 3D de organismos.

A preocupação com o uso de técnicas de processamento de imagens para análise morfométrica de espécies de peixes não é recente, e foi fortemente discutida no estudo de [Cadrin e Friedland \(1999\)](#). Em [Lines et al. \(2001\)](#), foi apresentada uma metodologia para estimar a massa de peixes utilizando um par de câmeras à prova d'água. Essas câmeras então capturavam sequências de imagens, para identificar os peixes estimando seu contorno através da subtração de imagens adquiridas em tempos diferentes e depois utilizando um modelo de distribuição de pontos. A massa foi estimada a partir de modelos de equações utilizando regressão linear, com base em medidas de peixes obtidas de forma manual, com as quais montava-se uma base de dados. Contudo, o método possuía uma série de limitações, como a qualidade da imagem, o posicionamento dos peixes e o seu comprimento, que devia estar entre 40 e 70cm.

Um trabalho similar foi desenvolvido posteriormente por [Costa et al. \(2006\)](#), porém com alguns aperfeiçoamentos no pré-processamento, como o uso do filtro da média para remover ruídos, assim como o uso do filtro de Sobel para a detecção de bordas e de uma Rede Neural Artificial (ANN, do inglês *Artificial Neural Network*) para a correção de erros da distribuição dos pontos dos contornos encontrados. Além disso, foram utilizados parâmetros como distância focal das câmeras e distância entre as duas câmeras para obter dados sobre a forma e o tamanho dos peixes.

É interessante notar que nos dois últimos trabalhos citados, o objetivo principal está em estimar medidas de peso e comprimento dos peixes. Contudo, na metodologia aqui proposta, o foco está em caracterizar a forma dos organismos; assim, a segmentação aqui deve ser mais minuciosa. Além disso, os estudos descritos, além de outros como ([HARVEY et al., 2003](#)), apresentam propostas menos invasivas devido ao uso de equipamento adequado, o que não é o nosso caso, onde os peixes precisam ser capturados.

Outras abordagens mais recentes envolvem técnicas mais aprimoradas para a segmentação de peixes, como em ([CHUANG et al., 2011](#)) que utiliza as técnicas de *Double Local Thresholding* e identificação semântica de peixes em vídeos gravados no fundo do mar, como é apresentado em ([LABAO; NAVAL, 2017](#)), que utilizou uma Rede Neural Convolutiva (CNN, do inglês *Convolutional Neural Network*) de 152 camadas denominada *ResNet* (do inglês *Fully Convolutional Residual Network*) e obteve precisão média de 65,91% para segmentar peixes mesmo com mudanças de tamanho, iluminação e

fundo.

Já em relação ao uso de tecnologias para a representação tridimensional de organismos, temos alguns trabalhos realizados com esse propósito. Como exemplos, citamos (DARDON et al., 2010), onde foram testados vários métodos de captura de imagem, assim como escaneamento tridimensional, e de modelagem 3D em fósseis, onde foram citadas diversas aplicabilidades como a reconstrução de estruturas, detecção de fraudes e extração de informações históricas mais detalhadas. Já em (TREVAS; CAVALCANTI; SILVA-CAVALCANTI, 2011), foi elaborada uma metodologia para a modelagem em três dimensões de seres marinhos para uso em um aquário virtual interativo no Museu de Oceanografia de Serra Talhada, em Pernambuco, com o estudo anatômico das espécies marinhas escolhidas e um software de modelagem 3D.

3 Fundamentação teórica

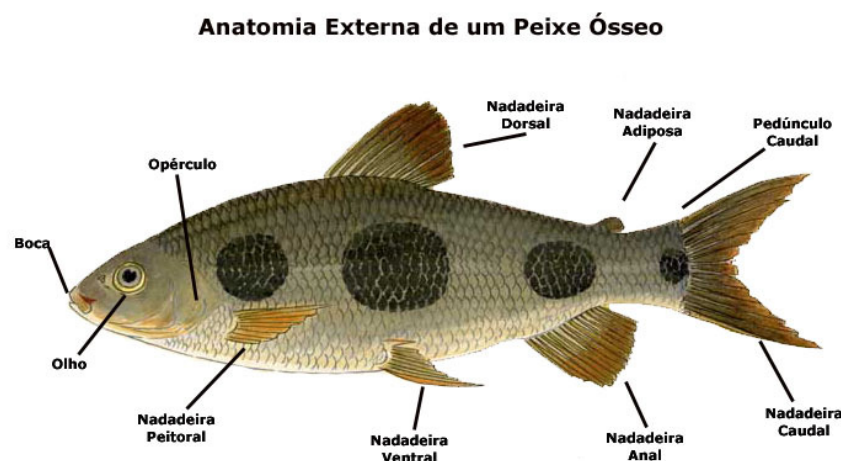
Neste capítulo são discutidos os principais fundamentos e técnicas aplicados no trabalho.

3.1 Anatomia dos peixes

Um peixe é um animal aquático peilotérmico (ou seja, equilibra sua temperatura corpórea com o ambiente) e, na sua maior parte, apresenta corpo fusiforme, brânquias utilizadas para respirar o oxigênio dissolvido na água, membros transformados em nadadeiras e o corpo coberto de escamas. Atualmente, estima-se existir 28.500 espécies de peixes que, na maior parte das vezes, são divididos em dois grupos: peixes ósseos, que apresentam o esqueleto ósseo, e peixes cartilagosos, à qual pertencem os tubarões e as raias (VIEIRA, 2013).

Focaremos na anatomia dos peixes ósseos, já que são os mais utilizados na piscicultura. A Figura 2 ilustra a anatomia externa do corpo de um peixe ósseo, com foco em suas principais estruturas.

Figura 2 – Anatomia externa de um peixe ósseo



Fonte – Vieira (2013)

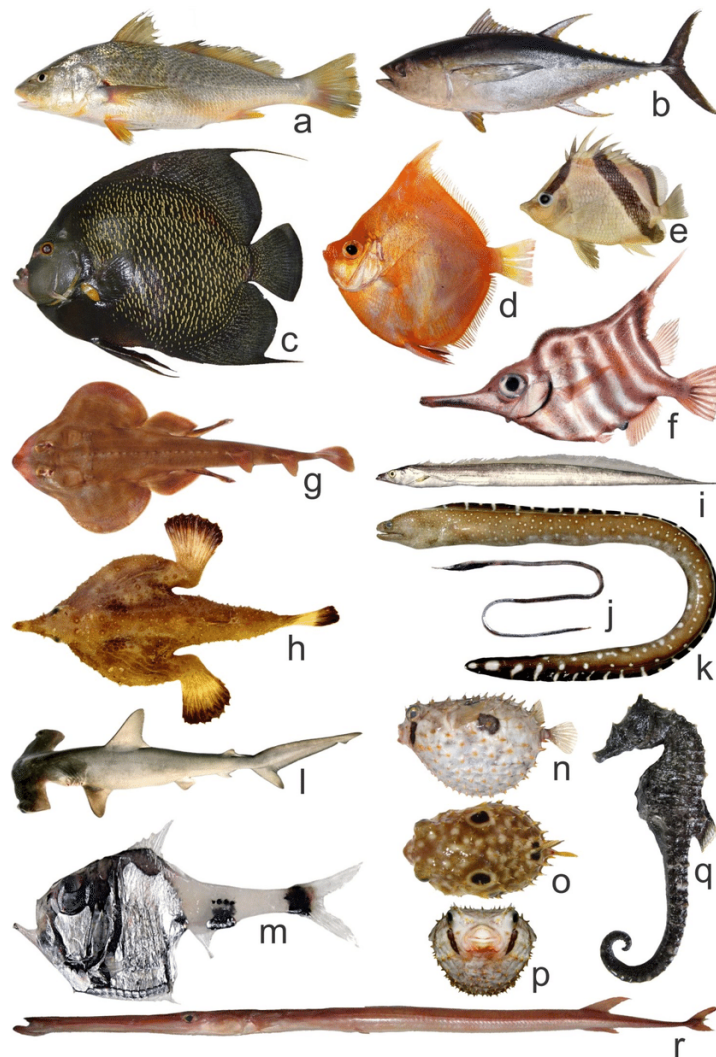
Em relação à forma, os peixes geralmente apresentam simetria bilateral, com o lado direito igual ao esquerdo (BEMVENUTI; FISCHER, 2011). Diversas espécies comerciais possuem o formato fusiforme, com a altura do corpo maior que sua largura e o comprimento maior que ambas. Esse formato reduz a resistência da água ao movimento do peixe e possibilita a natação em alta velocidade. Porém, muitas espécies possuem outros formatos

mais adequados as suas necessidades, como formas esféricas ou cúbicas para peixes que nadam lentamente, ou o corpo achatado lateralmente e, de perfil, um formato arredondado.

Outro formato, mais incomum, é o das enguias e das moréias. Estes peixes são alongados e seu comprimento excede em muitas vezes sua altura, com isso assemelham-se a uma cobra. Os bagres, por outro lado, possuem um formato semelhante ao fusiforme, mas com a largura maior que a altura do corpo (PERESSIN; SILVA, 2015).

A Figura 3 ilustra as diferentes formas corporais encontradas em peixes: fusiforme em (a) e (b); achatado lateralmente em (c), (d), (e) e (f); achatado dorso-ventralmente em (g) e (h); anguiliforme em (i), (j) e (k); globular em (n), (o) e (p); e outras formas em (l), (m), (q) e (r).

Figura 3 – Diferentes formas corporais encontradas em peixes



Fonte – Bemvenuti e Fischer (2011)

Já em relação a sua coloração, os peixes apresentam maior variedade de pigmentação do que outros vertebrados, e esta coloração está fortemente relacionada ao seu habitat

e modo de vida (BEMVENUTI; FISCHER, 2011). Em especial, o curimatá (também conhecido como curimbatá ou curimatã), do gênero *Prochilodus*, apresenta coloração prateada, e é geralmente encontrado em lagos, lagoas e rios (MENDE, 2014). Por outro lado, o bagre (que apresenta diversas espécies, dentre elas *Sciades herzbergii*) e o bandeirado (de nome científico *Bagre bagre*), que vivem nos fundos lamosos de igarapés (NETA; CASTRO, 2008), são escuros no dorso, de forma avermelhada, cinza ou marrom, e claros no ventre.

3.2 Processamento de Imagens

A área de Processamento Digital de Imagens (PDI) vem sendo objeto de crescente interesse, e sua principal motivação, além da análise automática por computador, está em reforçar características importantes nas imagens e melhorar seu aspecto visual, auxiliando o analista humano na interpretação e análise de informações, assim como possivelmente gerando resultados que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos (DIAS et al., 2013; FILHO; NETO, 1999).

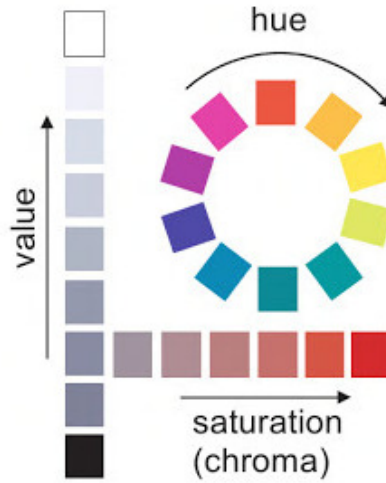
Em geral, um sistema de PDI é dividido nas seguintes etapas (ALVES, 2013): inicialmente, é necessário adquirir as imagens, através de uma câmera digital ou scanner laser, por exemplo. Após isso, é realizado o pré-processamento das imagens, no qual, em geral, são retirados ruídos ou é ajustado o contraste, com o objetivo de melhorar a qualidade das imagens. Em seguida, vem a etapa de segmentação, que consiste em dividir a imagem em regiões de interesse. A próxima etapa é a de extração de características, onde os grupos de pixels são representados e descritos como dados. Por fim, são realizadas as etapas de classificação, em que se busca encontrar padrões nos dados obtidos anteriormente, e de interpretação ou reconhecimento dos padrões encontrados.

3.2.1 Espaço de cores e HSV

Um espaço de cores é uma forma pela qual nós podemos especificar, criar e visualizar cores. Uma cor geralmente é especificada utilizando três parâmetros, ou componentes, que descrevem a posição da cor no espaço de cores utilizado. O mais conhecido é o RGB (do inglês *Red, Green and Blue*), utilizado em displays de vídeo, computador, televisão, imagens digitais, dentre outros (FORD; ROBERTS, 1998).

Já no modelo HSV (do inglês *Hue, Saturation and Value*), a imagem é representada de forma mais próxima à percepção visual humana e de forma mais intuitiva, utilizando três componentes: matiz (H), saturação (S) e valor ou brilho (V). A matiz representa a cor da imagem. Já a saturação e o valor estão relacionados, respectivamente, à pureza e ao brilho da cor. Esse modelo é ilustrado na Figura 4.

Figura 4 – Representação do espaço de cores HSV



Fonte – Sonka, Hlavac e Boyle (2014)

Apesar do modelo RGB ser o mais utilizado, dependendo da necessidade é preciso migrar para um outro espaço de cores. No caso do HSV, para realizar a conversão, é necessário normalizar os canais R, G e B, ou seja, mapear os seus valores no intervalo entre 0 e 1; em seguida, encontrar os valores máximos e mínimos de cada canal; e, por fim, calcular os valores de matiz, saturação e brilho da imagem, que são dados pelas Equações 3.1, 3.2 e 3.3 (FORD; ROBERTS, 1998; BURDESCU et al., 2009):

$$H = \begin{cases} 60(G - B), & \text{se } \max(R, G, B) = R \text{ e } G \geq B \\ 360 + 60(G - B), & \text{se } \max(R, G, B) = R \text{ e } G < B \\ 120 + (B - R), & \text{se } \max(R, G, B) = G \\ 240 + (R - G), & \text{se } \max(R, G, B) = B \end{cases} \quad (3.1)$$

$$S = \frac{\max(R, G, B) - \min(R, G, B)}{\max(R, G, B)} \quad (3.2)$$

$$V = \max(R, G, B) \quad (3.3)$$

3.2.2 Segmentação por limiarização (*thresholding*) e o algoritmo de Otsu

A limiarização pode ser descrita como uma técnica de processamento de imagens na qual uma imagem de entrada $f(x, y)$ de N níveis de cinza produz à saída uma imagem $g(x, y)$, chamada de imagem limiarizada, cujo o número de níveis de cinza é menor que N (NEVES; PELAES; SINAIS, 2008).

De forma simplificada, seja T o valor do limiar. Para cada pixel $f(x, y)$ da imagem de entrada, temos que:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{se } f(x, y) \geq T \\ 0, & \text{se } f(x, y) < T \end{cases} \quad (3.4)$$

Aqui, $g(x, y)$ representa os pixels da imagem limiarizada, que nesse caso está descrita em dois níveis: preto (0) e branco (1). Nesse caso, a limiarização é conhecida como binarização.

No entanto, encontrar o melhor valor para T nem sempre é uma tarefa trivial. Nesse contexto, foi utilizado o algoritmo de segmentação de Otsu (OTSU, 1979), que, com base na distribuição de níveis de cinza da imagem, tenta encontrar um valor ótimo de *threshold* que divida a imagem em duas classes distintas (em geral, objeto e fundo) (KURITA; OTSU; ABDELMALEK, 1992).

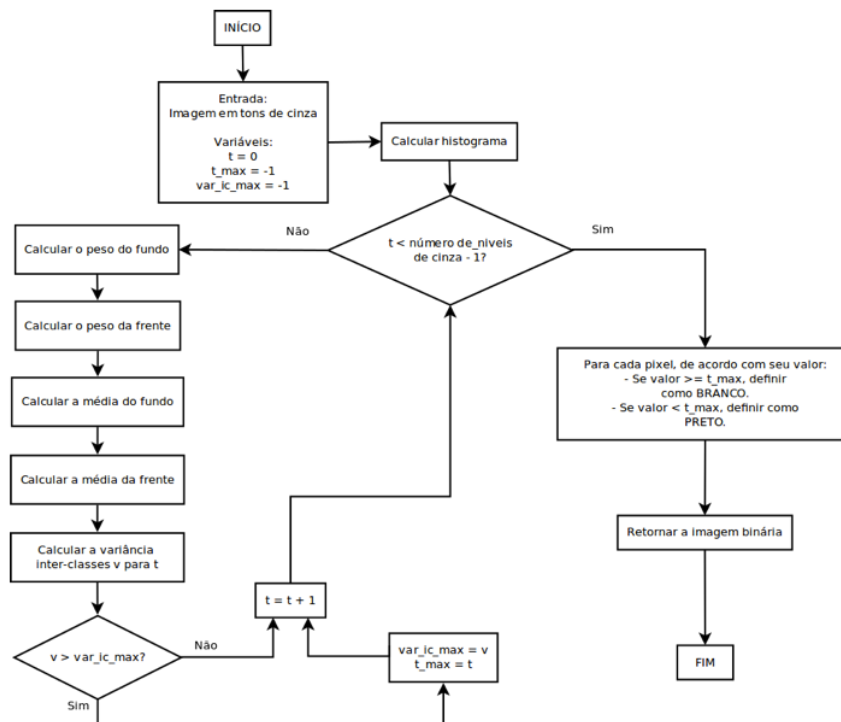
Essa análise é feita com o objetivo de minimizar a variância intraclasse da imagem, ou, de forma menos custosa, maximizar a variância interclasse, que é dada de acordo com a Equação 3.5.

$$\sigma_I^2 = W_b W_f (\mu_b - \mu_f)^2 \quad (3.5)$$

Aqui, W_b e W_f correspondem à probabilidade que um pixel possui de pertencer a classe b (referente ao fundo, do inglês *background*) ou f (referente ao objeto ou frente da imagem, do inglês *foreground*), e μ_b , μ_f são as médias de valores de pixels que pertencem às classes fundo e frente, respectivamente.

A Figura 5 ilustra o funcionamento do algoritmo em um fluxograma. Inicialmente, é necessário calcular o histograma da imagem em tons de cinza de entrada. A partir daí, para cada valor possível de um *threshold*, serão calculados os pesos e médias para as classes da frente e fundo da imagem. Esses valores serão utilizados no cálculo da variância interclasses. Após todas as iterações, o *threshold* escolhido é aquele que apresentou o maior valor para a variância interclasses. O algoritmo irá iterar cada pixel na imagem e verificar seu valor. Caso esse valor seja igual ou superior ao *threshold*, a cor do pixel será redefinida como branca. Caso o tom do pixel seja inferior ao *threshold*, sua nova cor será preta. Com isso, a saída agora será uma imagem binária em dois tons (TOROK; CONCI, 2016).

Figura 5 – Fluxograma do método de Otsu



Fonte – Torok e Conci (2016)

3.2.3 Segmentação por detecção de bordas e o algoritmo de Canny

Os métodos de segmentação baseados na detecção de bordas envolvem basicamente a localização de regiões da imagem onde a variação dos tons de cinza ocorre de maneira relativamente abrupta. A partir delas, são formados os contornos, ou bordas, dos objetos contidos na imagem (SANTOS, 2002).

O detector de bordas desenvolvido por Canny (CANNY, 1986) é considerado o método padrão utilizado por muitos pesquisadores (SILVA, 2000). A técnica proposta por Canny consiste nas seguintes etapas: inicialmente, é aplicado um filtro gaussiano na imagem para suavizá-la. Após isso, a direção da borda é estimada a partir do gradiente da imagem (CANNY, 1983). Utiliza-se então a técnica de *Non-Maximum Supression* (NEUBECK; GOOL, 2006) para remover pixels que não devem ser considerados como parte da borda. Finalmente, é utilizada uma técnica chamada de *Hysteresis Thresholding*. Nesta etapa, são aplicados dois limiares sobre a imagem, t_1 e t_2 , onde $t_1 > t_2$, para separar as bordas reais das bordas falsas e refinar o processo de segmentação. Pixels com a magnitude do gradiente acima de t_1 são classificados definitivamente como bordas; pixels entre t_1 e t_2 são classificados como potenciais bordas; e pixels abaixo de t_2 são classificados como bordas falsas (LUO; DURAIWAMI, 2008).

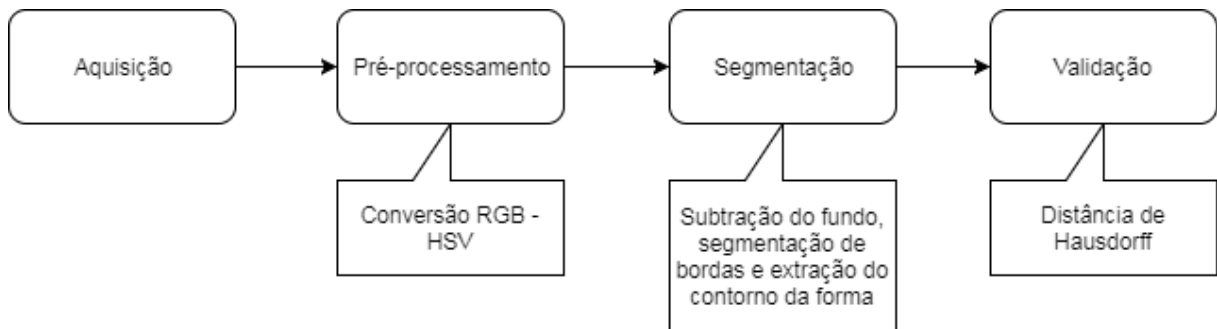
4 Materiais e Métodos

Neste capítulo são apresentadas as etapas adotadas para a realização do trabalho. A metodologia proposta é dividida em dois fluxos: um concentrado na extração do contorno de peixes em imagens bidimensionais e o outro com foco na caracterização tridimensional dos organismos.

4.1 Extração de contornos de peixes em imagens 2D

A Figura 6 esquematiza as etapas do método para a segmentação de imagens bidimensionais.

Figura 6 – Metodologia para a extração de contorno de peixes em imagens 2D.



Fonte – Acervo do autor

A base de imagens utilizada foi obtida por pesquisadores da área de Recursos Aquáticos e Pesca e é formada por 237 imagens de peixes com resolução de 5184 x 3888 pixels, sendo 4 delas de *Sciades herzbergii* e *Bagre bagre* e o restante de *Prochilodus spp.*. Para a aquisição dessas imagens, foi definido o seguinte protocolo: os peixes foram capturados na área da Baixada Maranhense, nos municípios de Arari e Vitória do Mearim, e então posicionados sobre uma chapa de cor azul ou verde, com uma numeração de identificação e opcionalmente uma régua, de modo que o corpo do organismo estivesse completamente acima da chapa. Dessa forma, as imagens foram adquiridas com uma câmera digital da marca Sony, modelo DSC-HX300, com distância focal de 4,3mm.

Para extrair o contorno do peixe, foram realizadas essencialmente duas etapas: a separação dos objetos do fundo da imagem utilizando limiarização e a segmentação das bordas da imagem.

4.1.1 Pré-processamento e subtração do fundo por limiarização

Analisando as imagens e com base na anatomia das espécies utilizadas, notou-se que o fundo das imagens apresenta maior saturação que os outros objetos presentes nela, em especial o peixe, que apresenta tonalidades prateadas ou mais escuras, portanto mais próximas de níveis de cinza. Dessa forma, converteu-se o espaço de cor de cada imagem, originalmente em RGB, para o espaço HSV, e das imagens de três canais resultantes foram obtidas novas imagens apenas com o canal da saturação. Um exemplo é mostrado na Figura 7.

Figura 7 – Resultado da conversão da imagem para o canal de saturação

(a) Imagem representada com os três canais



(b) Imagem apenas com o canal de saturação

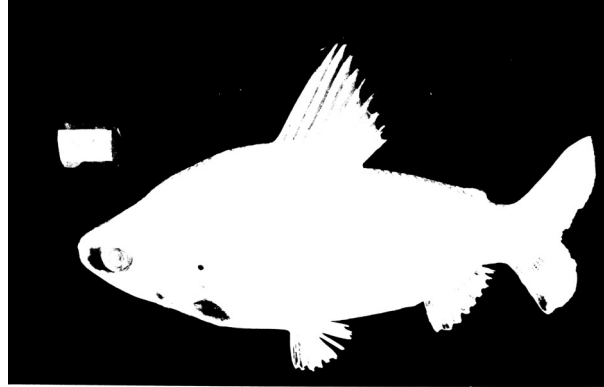


Fonte – Acervo do autor

A partir desse resultado, foi aplicada a operação de *thresholding* para binarizar as imagens utilizando o algoritmo de segmentação de Otsu. Já que o peixe apresenta menor saturação que o fundo, o resultado da binarização apresentou o fundo branco e o

peixe preto, e para um processamento correto inverteram-se as cores das imagens, como é mostrado na Figura 8.

Figura 8 – Exemplo de imagem binarizada



Fonte – Acervo do autor

4.1.2 Segmentação das bordas e extração do contorno

Com as imagens binarizadas, aplicou-se o algoritmo de Canny para a segmentação das bordas da imagem. Para isso, alguns parâmetros foram definidos:

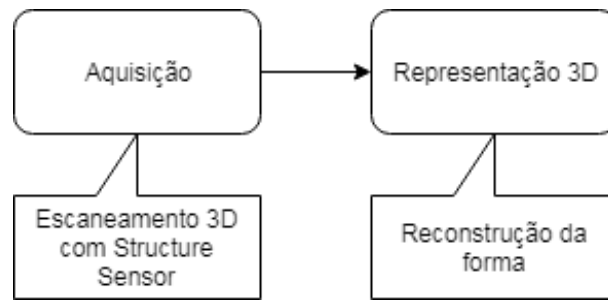
- O tamanho do kernel utilizado para o filtro gaussiano foi o padrão, 3x3;
- O operador gradiente utilizado foi o de Sobel (JIN-YU; YAN; XIAN-XIANG, 2009);
- Os limiares utilizados para a técnica de *Hysteresis Thresholding*, definidos de forma empírica, foram $t1 = 200$ e $t2 = 10$. Na verdade, como estamos trabalhando com imagens binárias, as escolhas desses limiares não interferem muito no resultado do algoritmo.

Após isso, utilizou-se o algoritmo de (SUZUKI et al., 1985) para encontrar os contornos nas imagens. Porém, como mencionado previamente, há a presença de outros elementos na imagem além do peixe, e o algoritmo, portanto, retornou mais de um contorno. Esse problema foi resolvido utilizando o teorema de Green (YANG; ALBREGTSEN, 1996) para o cálculo da área dos objetos com base no contorno; assim, como o peixe ocupa predominantemente as imagens, o contorno de maior área foi selecionado.

4.2 Caracterização da forma de peixes em 3D

As etapas do método para a modelagem tridimensional dos peixes são mostradas na Figura 9.

Figura 9 – Metodologia para a reconstrução da forma de peixes em 3D.



Fonte – Acervo do autor

Para o escaneamento, foi utilizado o *Structure Sensor* (OCCIPITAL, 2018), uma tecnologia de realidade aumentada que conta com uma câmera de profundidade e que acoplada a um iPad é capaz de funcionar como um scanner 3D, além de ter a capacidade de efetuar mapeamento interno de ambientes, tracking de objetos, entre outros. O equipamento é mostrado na Figura 10.

Assim, foi utilizado o aplicativo padrão de escaneamento disponibilizado pela tecnologia, como é ilustrado na Figura 11. Nesta metodologia, foram utilizadas apenas espécies de bagres e bandeirados, com uma quantidade total de 12 organismos.

Após isso, um arquivo de formato OBJ foi gerado para cada peixe escaneado, em conjunto com um arquivo de textura MTL e um arquivo de imagem JPEG. Com esses arquivos, foram gerados posteriormente os modelos 3D dos organismos.

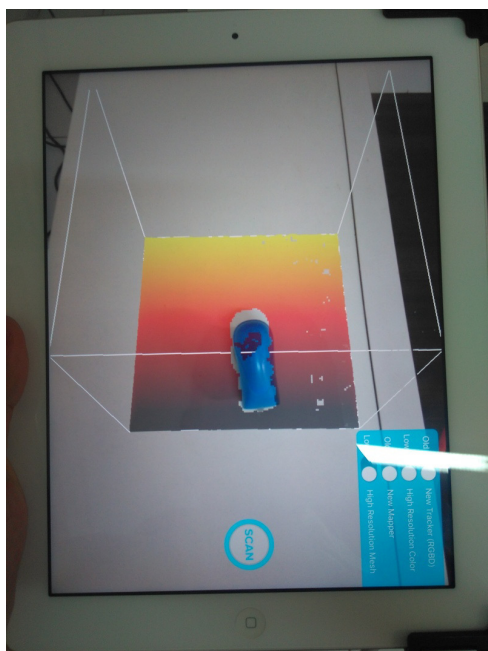
Figura 10 – Tecnologia utilizada para o escaneamento 3D



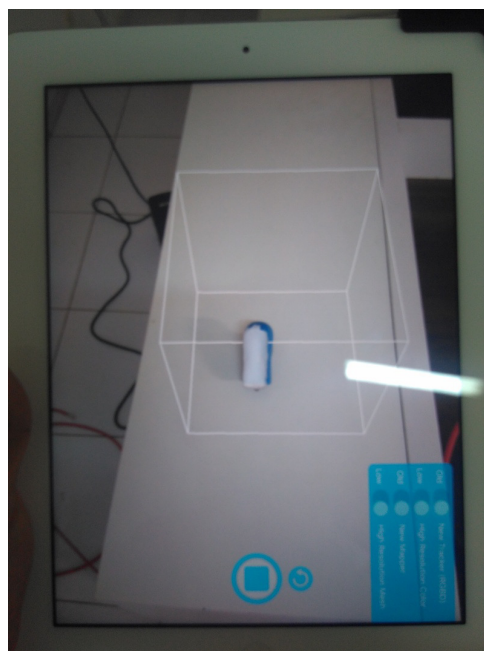
Fonte – Acervo do autor

Figura 11 – Scanner em funcionamento no iPad

(a) Ajuste da área de captura do objeto a ser modelado



(b) Objeto sendo escaneado



Fonte – Acervo do autor

5 Resultados e discussão

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos com os métodos propostos, além de discussões acerca desses resultados. Antes da apresentação e análise dos resultados, discutiremos a métrica utilizada para avaliar a segmentação de contornos em imagens bidimensionais.

5.1 Distância de Hausdorff e Similaridade Baseada na Distância de Hausdorff

A distância de Hausdorff (DH) pode ser usada para determinar o grau de semelhança entre dois objetos que se sobrepõem um ao outro ([HUTTENLOCHER; KLANDERMAN; RUCKLIDGE, 1993](#)), e é definida pela Equação 5.1:

$$DH(A, B) = \max(h(A, B), h(B, A)) \quad (5.1)$$

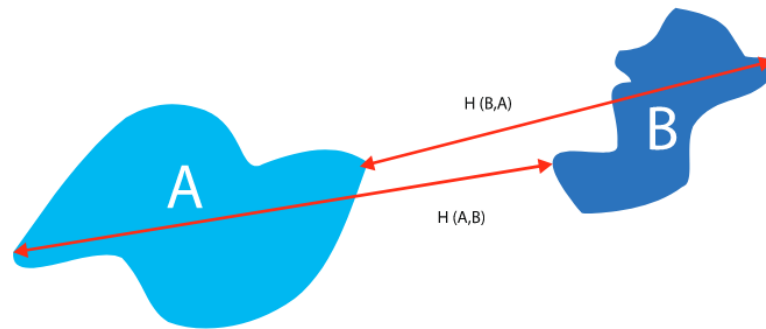
onde $h(A, B)$ é dado pela Equação 5.2:

$$h(A, B) = \max_{a \in A} \min_{b \in B} |a - b| \quad (5.2)$$

Em resumo, dados dois conjuntos A e B , calcula-se a distância (nesse caso, euclidiana) de cada ponto $a \in A$ para todo ponto $b \in B$. Das distâncias encontradas para a , é escolhida a mínima, e de todas as distâncias mínimas encontradas no conjunto A , é escolhida a máxima. Esse processo é realizado novamente, mas dessa vez calculando a distância de cada ponto em B para todo ponto em A . Ao final, dos dois valores máximos $h(A, B)$ e $h(B, A)$ encontrados, o maior é o resultado da função de Hausdorff. É importante destacar que esse cálculo funciona para conjuntos com diferentes cardinalidades, ou seja, os conjuntos A e B não precisam ter a mesma quantidade de pontos.

O cálculo dessa distância é melhor ilustrado na Figura 12, onde o resultado é igual a $H(A, B)$.

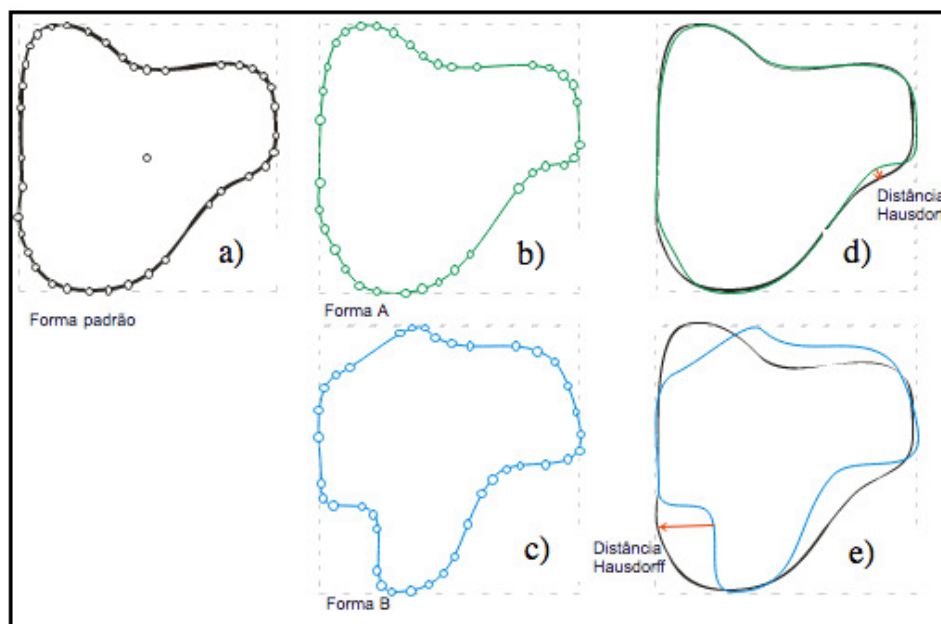
Figura 12 – Distância de Hausdorff entre dois conjuntos genéricos A e B



Fonte – Santos et al. (2016)

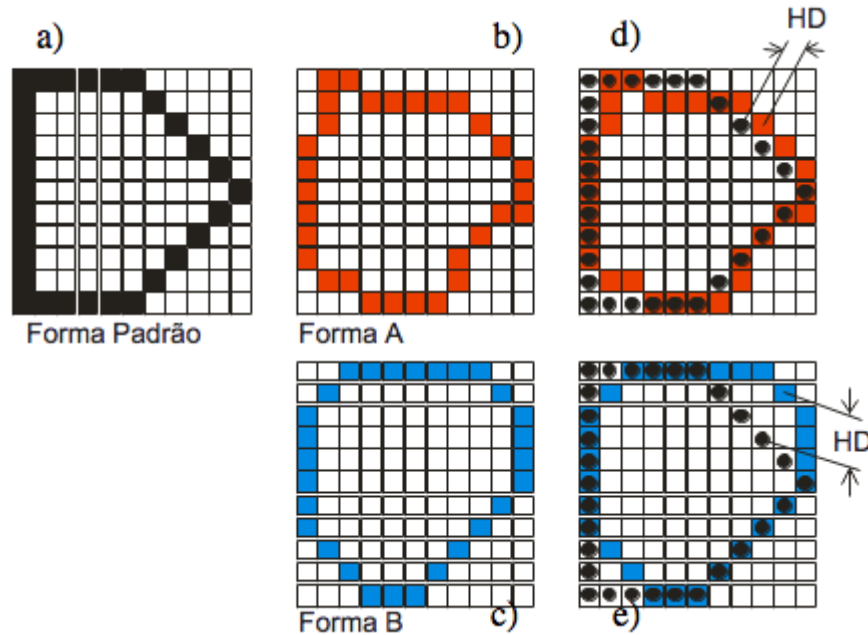
Quando relacionada a objetos, a distância entre dois polígonos simples e convexos, que não se interceptam, e onde um nem contém nem está contido no outro, é igual a distância de Hausdorff entre o conjunto de vértices que formam o polígono. Já quando se tratam de polígonos com posições e interferências espaciais, a HD é determinada considerando a distância entre as linhas que delimitam os polígonos, como é ilustrado na Figura 13, onde em (a) temos a forma padrão, em (b) e (c) as formas a serem comparadas com (a) e em (d) e (e) a DH entre os contornos. A forma geométrica pode estar representada num espaço matricial, como pixels numa imagem binária; nesse caso, o cálculo da HD envolve somente a distância entre pontos, como ilustrado na Figura 14, de forma análoga à figura anterior (GONÇALVES; MITISHITA, 2016).

Figura 13 – Distância de Hausdorff entre dois contornos A e B



Fonte – Gonçalves e Mitishita (2016)

Figura 14 – Distância de Hausdorff entre dois contornos em representações matriciais



Fonte – Gonçalves e Mitshita (2016)

A partir do cálculo dessa distância, foi definida uma métrica, chamada aqui de Similaridade Baseada na Distância de Hausdorff (SBDH). Métricas de similaridade semelhantes já foram utilizadas em Hu e Wang (2006) e Takacs (1998), e aqui ela é definida da seguinte forma: seja H_{max} a maior distância possível a ser encontrada pelo cálculo de Hausdorff em um conjunto universo U e $H(A, B)$ a distância de Hausdorff encontrada entre dois conjuntos A e B pertencentes a U . Assim, a Similaridade Baseada na Distância de Hausdorff entre A e B é definida como mostrado na Equação 5.3:

$$SBDH(A, B) = 1 - \frac{H(A, B)}{H_{max}} \quad (5.3)$$

Assim, a SBDH pode assumir valores entre 0 e 1, sendo 0 quando a distância de Hausdorff entre os dois conjuntos for a maior possível, e 1 quando os conjuntos são iguais, ou seja, quando possuem os mesmos pontos. Baseado nisso, foi considerado como aceitável para a análise de resultados um valor de SBDH acima de 0,95. Abaixo disso, a distância entre os pontos já é considerada insatisfatória, como será mostrado na próxima seção.

5.2 Segmentação 2D

Na Figura 15, é mostrado o resultado, em 15a, da segmentação automática do contorno de uma imagem seguindo a metodologia descrita anteriormente e, em 15b, da segmentação manual do contorno de uma amostra que foi realizada para comparação de

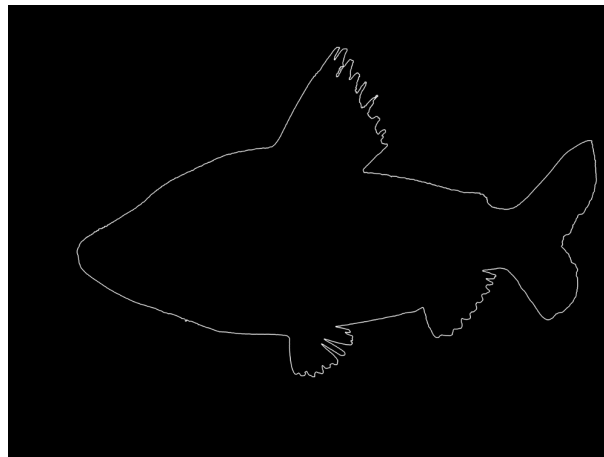
resultados. A seguir, na Figura 16, é ilustrado o resultado da segmentação automática em relação à imagem original.

Para a validação da metodologia proposta, foi utilizada a função de Hausdorff para o cálculo da distância entre os contornos obtidos na segmentação automática e na segmentação manual. Assim, os dois conjuntos utilizados no cálculo da distância correspondem aos contornos automático e manual, e os pontos de cada conjunto correspondem aos pixels que formam cada contorno. Note que, como o contorno da segmentação manual possui maior espessura que o da manual, aplicou-se a operação de *thinning* (SAEED et al., 2010) para uma comparação mais justa com a SBDH.

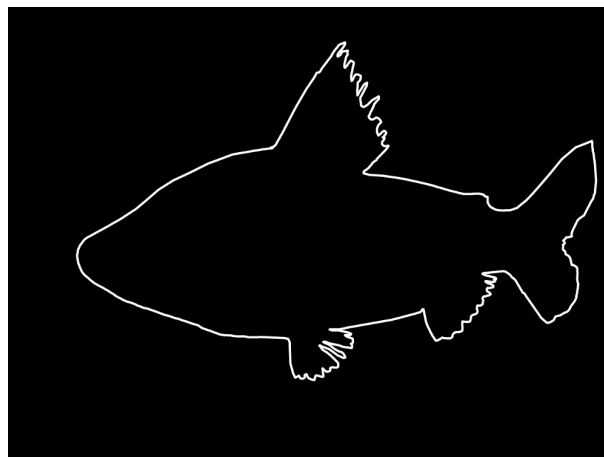
Dessa forma, foi encontrado um valor médio de 95,38% para a SBDH entre os contornos automáticos e manuais, com desvio padrão de 6,67313, como é mostrado na Tabela 1.

Figura 15 – Resultado da segmentação de contorno automática e manual de uma imagem

(a) Segmentação automática



(b) Segmentação manual



Fonte – Acervo do autor

Figura 16 – Contorno obtido de forma automática em uma imagem



Fonte – Acervo do autor

Tabela 1 – Resultados de SBDH para a segmentação com todas as imagens

SBDH (média)	Desvio padrão	SBDH do melhor caso	SBDH do pior caso
0,9538	0,066731	0,9838	0,6046

Nota-se que o valor médio encontrado para a SBDH foi satisfatório (já que foi maior que 95%), porém o desvio padrão encontrado foi alto. Analisando o melhor e o pior caso, percebe-se claramente que alguns resultados negativos influenciaram nesses números.

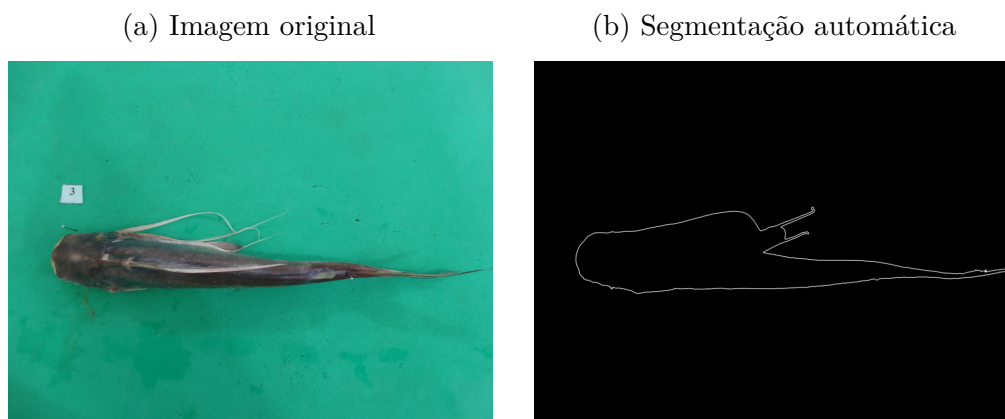
De modo geral, das 237 imagens processadas, apenas 10 (4,21% do total) apresentaram uma segmentação insatisfatória. Na Figura 17, é mostrado um exemplo onde uma estrutura corporal do peixe acabou atrapalhando na segmentação da forma, adicionando ao contorno uma área maior que a esperada. O valor de SBDH encontrado nesse exemplo foi de 0,9233, o que nos indica que, mesmo com o problema na segmentação, a metodologia ainda foi capaz de caracterizar boa parte do contorno de forma próxima ao esperado, já que o valor está relativamente próximo da média. Esse erro apenas foi apresentado nessa imagem.

É interessante notar que, nesse caso em específico, com o possível uso de uma ferramenta que permita a alteração do contorno pelo especialista, esse tipo de resultado pode ser facilmente corrigido.

Já na Figura 18, é mostrado um exemplo no qual parte do peixe ficou de fora do fundo verde e se misturou com uma área de saturação parecida com o seu corpo, o que acabou confundindo o algoritmo utilizado e resultou na seleção de contorno diferente do esperado. Esse mesmo tipo de problema também ocorreu quando parte do peixe não estava contido na imagem. Dessa forma, 9 imagens não foram segmentadas de forma correta em

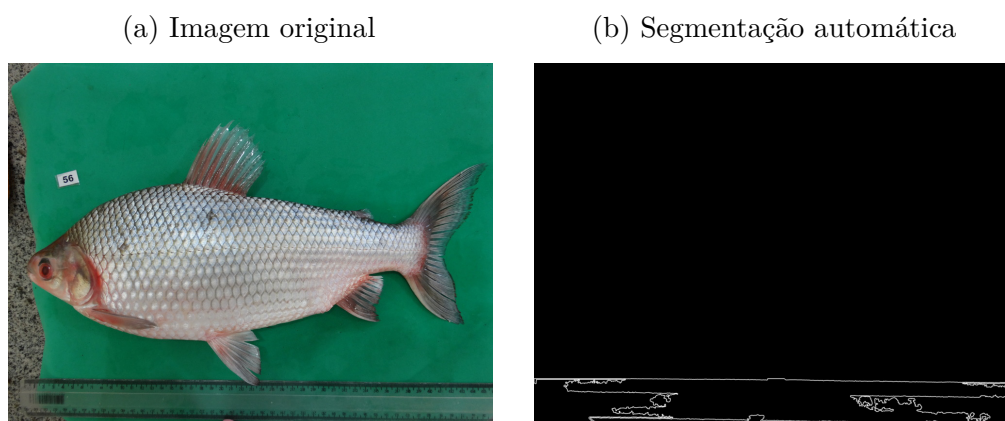
função desses fatores. Aqui, o valor de SBDH encontrado foi de 0,6043, o que indica que a segmentação nesse caso foi de fato improfícua.

Figura 17 – Primeiro exemplo de erro da segmentação automática



Fonte – Acervo do autor

Figura 18 – Segundo exemplo de erro da segmentação automática



Fonte – Acervo do autor

Porém, no caso anterior, os problemas aconteceram com imagens consideradas "inválidas", no sentido de que elas não foram obtidas de acordo com o protocolo estabelecido. Assim, removeram-se essas imagens para uma segunda análise, e os resultados para o cálculo da SBDH são mostrados na Tabela 2. Aqui, além do valor médio de SBDH ter sido superior, houve uma diminuição brusca no desvio padrão, e pelo pior caso nota-se que os resultados tiveram uma melhora considerável. O que mostra também que segmentações em imagens com erro de aquisição acabam gerando resultados inesperados e podem influenciar de forma bem negativa na metodologia.

Tabela 2 – Resultados de SBDH para a segmentação com as imagens adquiridas de forma correta

SBDH (média)	Desvio padrão	SBDH do melhor caso	SBDH do pior caso
0,9658	0,010327	0,9838	0,9233

Um último comentário acerca dos resultados é em relação à velocidade da segmentação. Uma segmentação manual minuciosa leva minutos pra ser realizada, enquanto que a segmentação automática para uma imagem levou em média um segundo para ser concluída. Assim, a metodologia mostra-se eficiente em gerar um algoritmo que substitua de forma adequada o processo manual utilizado por especialistas.

5.3 Modelagem 3D

Esta seção ilustra os resultados obtidos a partir da reconstrução 3D com a *Structure Sensor*. A Figura 19 expõe o resultado da modelagem 3D para um peixe em visão vertical, enquanto a Figura 20 ilustra o resultado em visão lateral. A partir das imagens, observa-se que a representação tridimensional da forma dos organismos foi realizada de forma satisfatória, apesar de não conseguir representar todas as estruturas da anatomia externa. Isso se deve ao fato das nadadeiras e do rabo apresentarem partes translúcidas que não são capturadas pelo sensor; apesar disso, a forma do peixe foi capturada.

Figura 19 – Resultado da modelagem 3D para um organismo em ângulo vertical

(a) Organismo real



(b) Modelo 3D do peixe



Fonte – Acervo do autor

Figura 20 – Resultado da modelagem 3D para um organismo em visão lateral

(a) Organismo real



(b) Modelo 3D do peixe



Fonte – Acervo do autor

Dessa maneira, os resultados nos mostram que a reconstrução tridimensional da forma do peixe obteve resultados animadores, e indicam que estudos futuros acerca de variações da forma de peixes a partir da superfície de modelos 3D podem ser realizados.

6 Conclusão

Neste trabalho foi apresentada uma metodologia automatizada para a extração de contornos com o propósito de caracterizar a forma de peixes, além da representação da forma tridimensional dos organismos. A distância média e o erro padrão encontrados a partir da função de Hausdorff indicam que os resultados obtidos com a segmentação automática em imagens 2D foram bastante satisfatórios, sendo que apenas 4,21% das imagens apresentaram resultados de segmentação negativos. Além disso, com o escaneamento realizado a partir da tecnologia *Structure Sensor*, foi possível caracterizar a forma 3D dos peixes, embora nem todas as estruturas tenham sido modeladas.

Para trabalhos futuros, sugere-se melhorar a metodologia de extração de contornos para se tornar mais abrangente (ou seja, que segmente outras imagens de peixes obtidas de forma diferente), utilizando outras técnicas de segmentação de bordas, e realizar testes com um maior número de imagens, de preferência com novas espécies de peixes. Além disso, a metodologia proposta tem como foco a etapa de segmentação das imagens. Logo, seria interessante o uso de alguma técnica de aprendizado de máquina, com características novas ou já existentes, que realizem algum tipo de classificação com base em particularidades morfológicas, enriquecendo ainda mais o trabalho desenvolvido. Porém, para isso, um novo estudo deve ser realizado, com o auxílio de especialistas, além de uma aquisição de imagens mais detalhada, com informações acerca dos estágios de maturação gonadal dos organismos coletados, por exemplo.

Outra preocupação pertinente consiste em tornar o estudo menos invasivo, com imagens de peixes obtidas em seu habitat natural, sem a necessidade de captura dos organismos, ou caso aconteça a captura, sem resultar no perecimento do animal. Nesse sentido, o processo de aquisição das imagens pode ser refinado com o uso de um equipamento apropriado.

Em relação ao escaneamento 3D, que não foi o foco principal deste trabalho, sugere-se desenvolver um aplicativo mais robusto, baseado na tecnologia utilizada ou em outras, que calcule, por exemplo, medidas do peixe, como comprimento ou estimativa da massa, além de conseguir capturar todas as estruturas externas presentes no corpo do animal.

Referências

- ALVES, N. M. E. *A equação do calor aplicada ao processamento de imagens*. 2013. Monografia (Graduação) — Universidade Federal de Minas Gerais, 2013. Citado na página 20.
- ARAÚJO, A. S.; OLIVEIRA, M. R.; CAMPOS, C. E. C.; YAMAMOTO, M. E.; CHELLAPPA, S. Características morfométricas-merísticas, peso-comprimento e maturação gonadal do peixe voador, *hirundichthys affinis* (günther, 1866). *Biota Amazônia (Biote Amazonie, Biota Amazonia, Amazonian Biota)*, v. 1, n. 2, p. 29–35, 2011. Citado na página 13.
- BEMVENUTI, M. de A.; FISCHER, L. G. Peixes: Morfologia e adaptações. v. 5, p. 31–54, 01 2011. Citado 3 vezes nas páginas 18, 19 e 20.
- BURDESCU, D.; BREZOVAN, M.; GANEA, E.; STANESCU, L. A new method for segmentation of images represented in a hsv color space. In: SPRINGER. *Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems*. Bordeaux, França, 2009. p. 606–617. Citado na página 21.
- CADRIN, S. X.; FRIEDLAND, K. D. The utility of image processing techniques for morphometric analysis and stock identification. *Fisheries Research*, Elsevier, v. 43, n. 1, p. 129–139, 1999. Citado na página 16.
- CANNY, J. A computational approach to edge detection. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, IEEE, n. 6, p. 679–698, 1986. Citado na página 23.
- CANNY, J. F. *Finding Edges and Lines in Images*. [S.l.], 1983. Citado na página 23.
- CHUANG, M.-C.; HWANG, J.-N.; WILLIAMS, K.; TOWLER, R. Automatic fish segmentation via double local thresholding for trawl-based underwater camera systems. In: IEEE. *Image Processing (ICIP), 2011 18th IEEE International Conference on*. Bruxelas, Bélgica, 2011. p. 3145–3148. Citado na página 16.
- COSTA, C.; LOY, A.; CATAUDELLA, S.; DAVIS, D.; SCARDI, M. Extracting fish size using dual underwater cameras. *Aquacultural Engineering*, Elsevier, v. 35, n. 3, p. 218–227, 2006. Citado na página 16.
- DARDON, U.; SOUZA, R. S. de; ABRANCHES, C. T. S.; BERGQVIST, L. P. Modelagem 3d e suas aplicações na pesquisa paleontológica. *Gaea-Journal of Geoscience*, v. 6, n. 2, p. 76–89, 2010. Citado na página 17.
- DIAS, W. C. et al. *Uso de processamento digital de imagens para o desenvolvimento de um ambiente automatizado para testes de plantabilidade de sementes de milho*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2013. Citado na página 20.
- FILHO, O. M.; NETO, H. V. *Processamento digital de imagens*. Rio de Janeiro: Brasport, 1999. Citado na página 20.
- FORD, A.; ROBERTS, A. Colour space conversions. *Westminster University, London*, v. 1998, p. 1–31, 1998. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 21.

- FREITAS, L. C. de; VIANA, A. P. P.; MOTA, T. d. S. de O.; CASTRO, J. da S.; BATISTA, W. dos S.; NETA, R. N. F. C. et al. Educação ambiental para o período do defeso da pesca: Uma abordagem na escola e com familiares dos estudantes de uma comunidade pesqueira do maranhão, brasil. *PESQUISA EM FOCO*, v. 21, n. 1, 2016. Citado na página 13.
- GONÇALVES, G. A.; MITISHITA, E. A. O uso da distância de hausdorff como medida de similaridade em sistemas automáticos de atualização cartográfica. *Boletim de Ciências Geodésicas*, Universidade Federal do Paraná, v. 22, n. 4, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 31.
- HARVEY, E.; CAPPO, M.; SHORTIS, M.; ROBSON, S.; BUCHANAN, J.; SPEARE, P. The accuracy and precision of underwater measurements of length and maximum body depth of southern bluefin tuna (*thunnus maccoyii*) with a stereo–video camera system. *Fisheries Research*, Elsevier, v. 63, n. 3, p. 315–326, 2003. Citado na página 16.
- HU, Y.; WANG, Z. A similarity measure based on hausdorff distance for human face recognition. In: IEEE. *Pattern Recognition, 2006. ICPR 2006. 18th International Conference on*. Hong Kong, China, 2006. v. 3, p. 1131–1134. Citado na página 31.
- HUTTENLOCHER, D. P.; KLANDERMAN, G. A.; RUCKLIDGE, W. J. Comparing images using the hausdorff distance. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, IEEE, v. 15, n. 9, p. 850–863, 1993. Citado na página 29.
- JIN-YU, Z.; YAN, C.; XIAN-XIANG, H. Edge detection of images based on improved sobel operator and genetic algorithms. In: IEEE. *Image Analysis and Signal Processing, 2009. IASP 2009. International Conference on*. Linhai, China, 2009. p. 31–35. Citado na página 26.
- KURITA, T.; OTSU, N.; ABDELMALEK, N. Maximum likelihood thresholding based on population mixture models. *Pattern recognition*, Elsevier, v. 25, n. 10, p. 1231–1240, 1992. Citado na página 22.
- LABAO, A. B.; NAVAL, P. C. Weakly-labelled semantic segmentation of fish objects in underwater videos using a deep residual network. In: SPRINGER. *Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems*. [S.l.], 2017. p. 255–265. Citado na página 16.
- LINES, J.; TILLET, R.; ROSS, L.; CHAN, D.; HOCKADAY, S.; MCFARLANE, N. An automatic image-based system for estimating the mass of free-swimming fish. *Computers and Electronics in Agriculture*, Elsevier, v. 31, n. 2, p. 151–168, 2001. Citado na página 16.
- LUO, Y.; DURAISWAMI, R. Canny edge detection on nvidia cuda. In: IEEE. *Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, 2008. CVPRW'08. IEEE Computer Society Conference on*. [S.l.], 2008. p. 1–8. Citado na página 23.
- MENDE, L. 2014. Disponível em: <<http://www.klimanaturali.org/2012/06/curimata-ou-curimba-prochilodus.html>>. Acessado em 05 de Janeiro de 2018. Citado na página 20.

- MONTELES, J. S.; FUNO, I. C. de A.; CASTRO, A. C. L. de. Caracterização da pesca artesanal nos municípios de Humberto de Campos e Primeira Cruz-Maranhão. *Boletim do Laboratório de Hidrobiologia*, v. 23, n. 1, 2010. Citado na página 13.
- NETA, R. N. F. C.; CASTRO, A. C. L. de. Diversidade das assembleias de peixes estuarinos da ilha dos Caranguejos, Maranhão. *Arquivos de Ciências do Mar*, v. 41, n. 1, p. 48–57, 2008. Citado na página 20.
- NEUBECK, A.; GOOL, L. V. Efficient non-maximum suppression. In: IEEE. *Pattern Recognition, 2006. ICPR 2006. 18th International Conference on*. Hong Kong, China, 2006. v. 3, p. 850–855. Citado na página 23.
- NEVES, S. C. M.; PELAES, E. G.; SINAIS, L. d. P. de. Estudo e implementação de técnicas de segmentação de imagens. *Revista Virtual de Iniciação Acadêmica da UFPA-Universidade Federal do Pará-Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação*, v. 1, n. 2, 2008. Citado na página 21.
- OCCIPITAL, I. *Structure Sensor*. 2018. Disponível em: <<https://structure.io/>>. Acessado em 09 de Janeiro de 2018. Citado na página 27.
- OTSU, N. A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, IEEE, v. 9, n. 1, p. 62–66, 1979. Citado na página 22.
- PERESSIN, A.; SILVA, T. T. *Sistemática, anatomia, fisiologia e ecologia de peixes*. 2015. 11-33 p. Citado na página 19.
- SAEED, K.; TABEĐZKI, M.; RYBNIK, M.; ADAMSKI, M. K3m: A universal algorithm for image skeletonization and a review of thinning techniques. *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, v. 20, n. 2, p. 317–335, 2010. Citado na página 32.
- SANTOS, J. B. d. et al. *Distância entre curvas algébricas: uma discussão para o ensino médio*. Tese (Doutorado) — Universidade Estadual de Campinas, 2016. Citado na página 30.
- SANTOS, V. T. *Segmentação de imagens mamográficas para detecção de nódulos em mamas densas*. Tese (Doutorado) — Universidade De São Paulo, 2002. Citado na página 23.
- SEIXAS, S. R. da C.; HOEFFEL, J. L. de M.; RENK, M.; SILVA, B. N. da; LIMA, F. Bueno de. Percepção de pescadores e maricultores sobre mudanças ambientais globais, no litoral norte paulista, São Paulo, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management*, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, v. 14, n. 1, 2014. Citado na página 13.
- SILVA, J. d. S. *Análise da forma por Descritores de Fourier em Prochilodus spp. na área de proteção ambiental da Baixada Maranhense*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual do Maranhão, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 14.
- SILVA, L. *Segmentação de imagens de profundidade por detecção de bordas*. Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Informática. Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, 2000. Citado na página 23.

- SONKA, M.; HLAVAC, V.; BOYLE, R. *Image processing, analysis, and machine vision*. Stamford, Estados Unidos: Cengage Learning, 2014. Citado na página 21.
- SOUZA, M. R. de J.; CASTRO, C. L. de. Caracterização morfométrica e biológica de 03 (três) espécies de peixes co-letados na área de influência da alumar. 2003. Citado na página 13.
- SUZUKI, S. et al. Topological structural analysis of digitized binary images by border following. *Computer vision, graphics, and image processing*, Elsevier, v. 30, n. 1, p. 32–46, 1985. Citado na página 26.
- TAKACS, B. Comparing face images using the modified hausdorff distance. *Pattern Recognition*, Elsevier, v. 31, n. 12, p. 1873–1881, 1998. Citado na página 31.
- TOROK, L.; CONCI, A. Método de otsu. *Instituto de Computação (UFF)*, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 23.
- TREVAS, C. T. Y. P.; CAVALCANTI, E. H. de F.; SILVA-CAVALCANTI, J. S. Elaboração e modelagem tridimensionais para produção de conteúdos em museus de ciências: o caso do museu de oceanografia de serra talhada-pe/tri-dimensional modeling for content production in science museums: the case of the museum of oceanography in ser. *Revista Museu Virtual*, v. 2, 2011. Citado na página 17.
- VIEIRA, C. d. M. 2013. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAft0AA/apostila-piscicultura#>>. Acessado em 05 de Janeiro de 2018. Citado na página 18.
- YANG, L.; ALBREGTSEN, F. Fast and exact computation of cartesian geometric moments using discrete green's theorem. *Pattern Recognition*, Elsevier, v. 29, n. 7, p. 1061–1073, 1996. Citado na página 26.