

Projecto: MEDUSA (Candidatura Açores2020)

Promotor: FISHMETRICS, Lda

Relatório Final

1. Descrição geral do Projeto

O comprimento é um parâmetro-chave para avaliar o stock de pescado. Ajuda à gestão e traz benefícios económicos, quer no contexto da pesca, quer no contexto da aquacultura. As informações associadas ao tamanho são também um método indireto para estimar outras medidas essenciais para a gestão do stock, como por exemplo o peso, a idade e a morfologia do peixe (ex: volume ou teor de gordura). Na aquacultura, a recolha de informações sobre o tamanho dos peixes é importante ou mesmo essencial em muitos momentos da produção, tais como na (a) determinação do momento ideal da captura, (b) estimação duma série de parâmetros ao nível da população e estudo da sua evolução (parâmetros como o volume, peso, sexo ou o teor de gordura); (c) avaliação do stock durante a criação; (d) classificação e separação dos indivíduos por tamanho; (e) otimização na distribuição de alimento; (f) controlo do desenvolvimento dos indivíduos; (e) previsão do valor de mercado do produto.

No contexto do projeto MEDUSA, desenvolveu-se um sistema de visão de baixo custo que permitiu obter medidas em peixe vivo (sem sair do meio aquático), podendo ser utilizado por um utilizador de baixa formação, sem necessidade de calibração ou um serviço exigente de análise de imagem após a aquisição.

Experiências realizadas com o protótipo desenvolvido permitiram constatar que é possível detetar o peixe onde haja visibilidade (numa profundidade que depende da turbidez da água, mas que nunca será superior a 20 metros, se quisermos usar a luz natural). Contudo, alguns desafios específicos tiveram de ser analisados e ultrapassados: o desafio da geometria projetiva associada a um modelo refrativo com vários meios (ar, água, etc); a difração da luz na água turva (ou com partículas em suspensão); a atenuação da luz na água (quer no espectro do visível quer no infravermelho); o movimento da água que traz problemas de calibração e refração/difração; a existência de múltiplos indivíduos (problema da oclusão e da correspondência num sistema estéreo); o movimento dos indivíduos (que é resolvido através duma relação entre velocidade de aquisição, sincronismo entre câmaras, exposição, focagem e iluminação). Todos estes desafios tornam o sistema muito diferente de um sistema de visão convencional fora de água, como iremos ver nas secções seguintes.

2. Objetivos

O objetivo principal do projeto MEDUSA consistiu na investigação e desenvolvimento de um sistema de visão por computador capaz de proceder à medição do comprimento de peixe em meio aquático, envolvendo uma multiplicidade de indivíduos vivos.

Pretendeu-se que o sistema cumprisse os seguintes requisitos:

- A aquisição de imagens fosse de utilização simples, passível de ser realizada por um utilizador não especialista;
- O hardware fosse de baixo custo de produção (abaixo dos 2K), com baixos custos de serviço;
- Adquirisse imagens em meios aquáticos reais (com elevada turbidez);

- A deteção dos indivíduos vivos, a medir na imagem, fosse feita de forma automática, podendo haver alguma intervenção humana na posterior medição dos comprimentos (para verificação e análise das medidas);
- O processo fosse adequado ao contexto da aquacultura, em termos de utilização e manuseamento do sistema.

Para cumprir os objetivos enunciados, procedeu-se a várias experiências recorrendo a diferentes sistemas de reconstrução tridimensional, especialmente os dois seguintes:

1. Utilização de scanner com um projetor de um padrão infravermelho (fazendo reconstrução por triangulação entre a imagem capturada pela câmara e a imagem infravermelha projetada).
2. Utilização de um sistema binocular (fazendo reconstrução por *matching* entre as duas imagens capturadas pelo sistema de visão estéreo).

As principais metas deste projeto consistiram em desenvolver as fases de I&D correspondentes aos níveis de maturidade tecnológica TRL 1, 2, 3, 4 e 5, culminando no desenvolvimento de um protótipo que permitisse validar os métodos desenvolvidos em ambiente de aquacultura.

3. Atividades desenvolvidas

Este projeto compreendeu as seguintes fases: pesquisa científica, investigação e desenvolvimento dos algoritmos computacionais, e testes e validação dos algoritmos criados num protótipo criado para o efeito.

A pesquisa científica foi realizada recorrendo às seguintes fontes: i) patentes disponibilizadas pelas bases de dados de patentes disponíveis online, como por exemplo a base de dados da WIPO e da Google; ii) a bases de dados de artigos científicos na área do processamento de imagem e visão, disponibilizadas por revistas e conferências de referência nesta área, como as *Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* e a *Computer Vision and Pattern Recognition Conference*. Para

além da utilização das bases de dados de patentes e de artigos referidas, utilizaram-se as ferramentas online disponíveis.

A fase de investigação e desenvolvimento passou pelo desenvolvimento de um protótipo num tanque, inicialmente com objetos estáticos. Para tal, recorreram-se, primeiro, a pequenos tanques construídos para o efeito, depois a tanques maiores disponibilizados pelo Departamento de Oceanografias e Pescas (Universidade dos Açores). Numa fase posterior, o protótipo foi testado em tanques com peixe vivo: primeiro, em tanques disponibilizados pelo Aquário de Porto Pim, na Horta; depois em tanques de aquacultura na Estação Piloto de Piscicultura de Olhão (IPMA).

Na fase de testes, aplicaram-se os algoritmos desenvolvidos em dois sistemas: um scanner com infravermelho e um sistema de visão estéreo. Procedeu-se à análise dos resultados obtidos.

Em síntese, as atividades desenvolvidas foram realizadas tal como consta no documento de candidatura, e são as seguintes:

Atividade 1: Atividade de gestão e divulgação, transversal a todas as atividades, decorreu ao longo de todo o projeto.

Atividade 2: Análise de trabalho relacionado e levantamento de requisitos

Nesta atividade compilou-se e analisou-se, com detalhe, o trabalho científico produzido na área da visão por computador em aquacultura. Fez-se o levantamento de requisitos que o sistema devia cumprir, nomeadamente em termos das espécies a tratar, da precisão das medidas a obter, do modo de funcionamento do sistema, do seu modo de utilização ou de integração com outros sistemas. Uma parte significativa da análise de requisitos incidiu sobre os dados de *input* que os algoritmos devem receber e que *outputs* concretos produzirão. Para tal contactaram-se os três locais já referidos anteriormente: o Departamento de Oceanografias e Pescas, o Aquário de Porto Pim (nomeadamente responsáveis da empresa gestora do espaço) e elementos do IPMA na Estação Piloto de Piscicultura de Olhão. Os principais condicionantes

encontrados tiveram a ver com a mobilidade dos peixes, com a estanquicidade do sistema a colocar na água e com as condições de turbidez da água.

Atividade 3: Determinação de um sistema de aquisição de imagem em meio aquático

Esta atividade iniciou-se com a recolha de imagens de peixe em meio aquático usando dois sistemas de visão diferentes: um scanner infravermelho e um sistema de visão estéreo. Tendo em conta os requisitos definidos na atividade anterior e as imagens obtidas, definiram-se os parâmetros básicos do sistema de visão a desenvolver, tais como espaço de trabalho, profundidade de campo, iluminação, resolução mínima dos sensores. Precedeu-se a testes em meio aquático de hardware existentes no mercado (nomeadamente câmaras, projetores infravermelho e invólucros estanques). Fez-se a sua análise, de forma a procurar um hardware que cumpra os requisitos do projeto. Com base no hardware selecionado, procede-se à construção de dois protótipos: um scanner 3D capaz de reconstruir com base na projeção de um padrão infravermelho; um sistema binocular capaz de reconstruir com base na geometria projetiva de um par estéreo. O scanner de infravermelho, apesar de obter medidas 3D, principalmente nos casos em que a água oferecia baixa turbidez, acabou por ser abandonado devido aos seguintes resultados experimentais observados:

- a) Rápida degradação da qualidade dos resultados em cenários de aquacultura com águas turvas;
- b) Forte interferência do sol/reflexão/movimento da água sobre o infravermelho projetado – produzindo medidas erróneas;
- c) Atenuação do infravermelho na água limita o alcance do sistema de medida.

Optou-se assim pelo sistema binocular de visão estéreo, que produziu melhores resultados quer em águas turvas, quer em condições de iluminação mais exigentes. Os resultados obtidos serão especificados na secção 4.

Atividade 4: Arquitetura do sistema

Nesta atividade definiu-se a estrutura geral do sistema, os casos de uso (Use Cases), os componentes do sistema e a sua interação.

Atividade 5: Desenvolvimento de algoritmos de processamento de imagem e visão

Esta atividade consistiu em projetar e desenvolver todos os algoritmos de processamento de imagem responsáveis pela reconstrução tridimensional dos peixes, deteção dos respetivos pontos de interesse, correspondência entre pontos e medição. Os algoritmos foram divididos em três módulos independentes: um módulo de calibração do sistema de visão para conhecer a relação entre os elementos óticos, um módulo responsável pela reconstrução tridimensional dos pontos vistos no espaço de trabalho, e outro módulo responsável pela seleção dos indivíduos a medir e obtenção dos comprimentos.

Atividade 6: Desenvolvimento de protótipo

Nesta atividade construiu-se o protótipo para testes em meio aquático, no qual foram testados os modelos e algoritmos desenvolvidos nas atividades anteriores. Ver secção 4.

Atividade 7: Testes e validação do sistema

Esta atividade correspondeu à validação de todos os métodos desenvolvidos e implementados. Testaram-se e validaram-se, em ambiente aquático, os seguintes itens:

- o método de deteção do peixe;
- o método de determinação da posição do pescado;
- a exatidão dos comprimentos estimados;
- a robustez dos algoritmos propostos a variações de iluminação e outras condições;
- todas as funcionalidades e opções do programa;

- os requisitos definidos na Atividade 2.

Esta atividade compreendeu também a análise dos resultados obtidos e a elaboração de relatórios dos testes, em que se registaram os resultados e conclusões de todos os testes efetuados.

4. Resultados

No projeto MEDUSA propôs-se um sistema de visão fácil de usar para obter medições sobre os peixes vivos, evitando a necessidade de uma calibração exigente. Os resultados obtidos pela scanner infravermelho foram erróneos, bastante degradados em águas turvas, pelo que se optou por abandonar esta abordagem e trabalhar exclusivamente num protótipo com visão estéreo. Os resultados que iremos mostrar de seguida correspondem essencialmente ao desenvolvimento deste sistema binocular, apesar dos resultados teóricos serem em grande medida também aplicáveis e válidos para um scanner infravermelho.

Primeiramente, um breve estudo teórico é apresentado, mostrando a dificuldade de medir um peixe tendo em conta a variação do ângulo de incidência dos raios de luz na água. Partindo de algumas condições estruturais, como uma linha de base (*baseline* ou distância entre câmaras) curta (na ordem de 100mm) e um ROI (Região de Interesse do FOV, medida em graus) inferior a 60 graus, é demonstrado que o sistema é capaz de medir os peixes com um erro inferior a 1%, utilizando um modelo aproximado de estimação. A *baseline* quando é estreita permite ter um sistema compacto e traz alguns benefícios geométricos, como iremos ver.

No final desta secção, será apresentado um conjunto de experiências, quer em condições simuladas quer em condições reais, mostrando que funciona robustamente para várias posições e orientações do peixe (mesmo quando a barbatana caudal e a boca do peixe estão a diferentes distâncias da câmara).

4.1. Sistema e Método

O sistema proposto consiste num par de câmaras localizado em eixos aproximadamente paralelos, instalados num invólucro de ar (A), separados do ambiente aquático (W) por

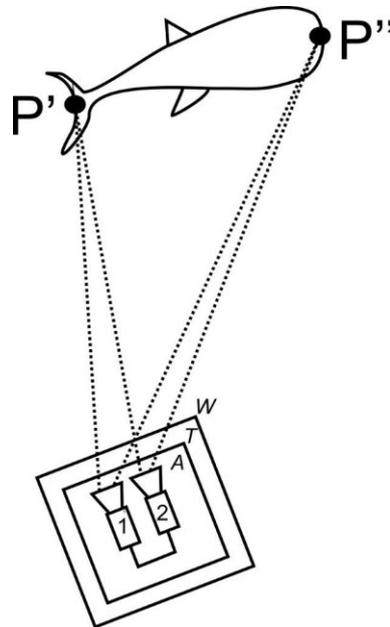


Figura 1. Sistema de visão estéreo subaquático medindo a distância entre dois pontos (P' e P''). Para ambas as câmaras 1 e 2, cada raio de luz cruza três meios diferentes: Ar (A), Vidro ou Acrílico (T) e Água (W).

uma substância transparente planar (T) de vidro ou acrílico. A superfície de T deve ser aproximadamente perpendicular ao eixo óptico das duas câmaras, como mostra a Figura 1.

Normalmente, as imagens obtidas pelo par estéreo são como se mostra na Figura 2. A câmara esquerda captura a Imagem Esquerda (cujos pontos têm coordenadas (x_1, y_1)), e a câmara direita captura a Imagem Direita (cujos pontos têm coordenadas (x_2, y_2)).

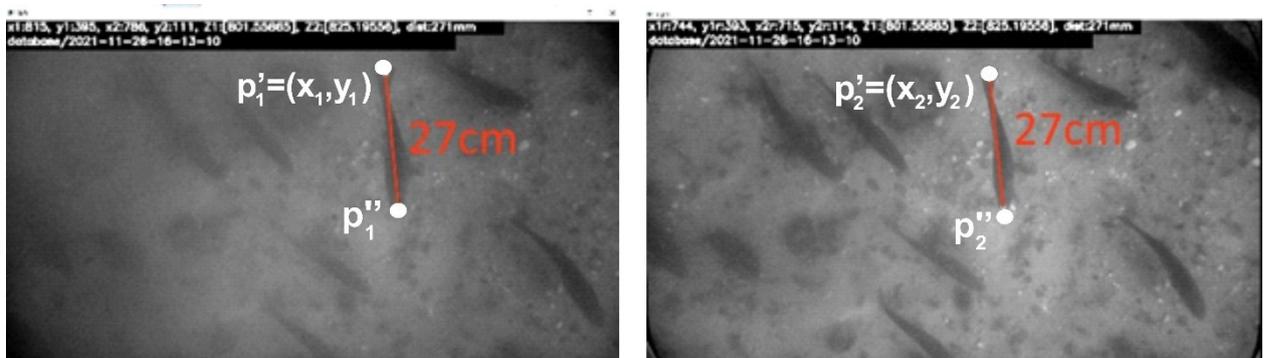


Figura 2. Imagens captadas pela câmara 1 (à esquerda) e pela câmara 2 (à direita). P' e P'' são projetados em ambas as imagens em diferentes coordenadas. Estas diferenças, devido ao efeito de paralaxe, permitem reconstruir tridimensionalmente P' e P'' .

Quando o par estéreo e os peixes estão num único meio (de ar, ou seja, fora de água), definidos como um modelo não aquático convencional (isto acontece sempre que o peixe é capturado, trazido a bordo ou a terra), as medições do peixe podem ser realizadas através de uma simples triangulação, usando um modelo projetivo padrão. Neste caso, um ponto arbitrário P' localizado no peixe, com as suas coordenadas X , Y e Z , são projetadas diretamente nas câmaras, através de um ângulo único de incidência. Para exemplificar isto, a Figura 3a mostra um exemplo para as coordenadas X e Z , que estão relacionadas com o ângulo de incidência a através de uma simples relação de semelhança entre triângulos. Isto pode ser descrito como se segue (para simplificar, consideraremos que ambas as câmaras estão normalizadas, são iguais e têm comprimento focal igual a 1):

$$X = Z \tan a \quad (1)$$

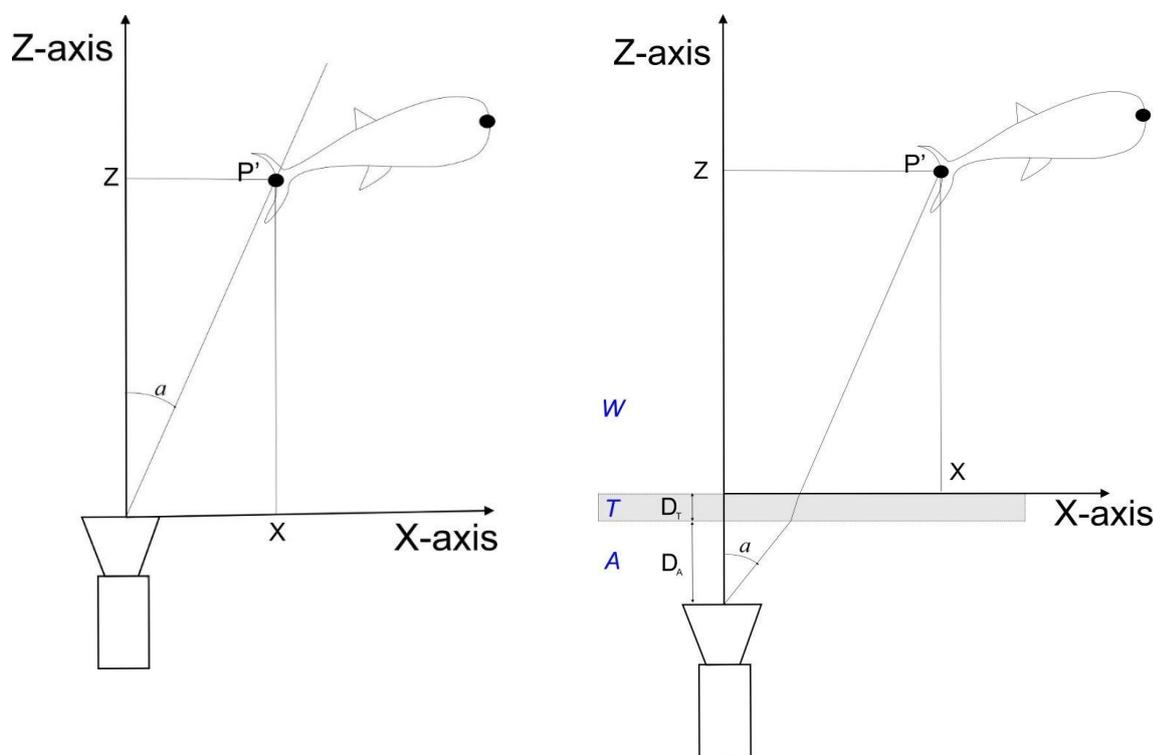


Figura 3. (a) À esquerda: Projção perspetiva do ponto P' , o raio de projeção da luz passa por uma única substância. (b) À direita: Projção perspetiva do mesmo ponto, considerando que a luz cruza três meios diferentes (A, T e W).

Para conseguir uma reconstrução 3D completa, no cenário fora de água, existem processos robustos e bem estabelecidos para estimar Z e X (e Y para o caso genérico), com base na triangulação de dois raios de projeção, projetados em duas câmaras, no contexto de um modelo estéreo calibrado.

No entanto, ao forçar os raios de luz a atravessar diferentes substâncias, tal como anteriormente proposto na Figura 1, a luz é desviada nos seus pontos de transição. Para o nosso exemplo aquático, representado na Figura 3b, existem dois pontos de transição: entre A e T e entre T e W. Para uma determinada gama de ângulos, X relaciona-se com o ângulo de incidência α e Z através de uma nova fórmula, muito mais complexa do que a fórmula apresentada na equação (1):

$$X = D_A \tan \alpha + D_T k_T \frac{\sin \alpha}{\sqrt{1 - k_T^2 \sin^2 \alpha}} + Z k_W \frac{\sin \alpha}{\sqrt{1 - k_W^2 \sin^2 \alpha}} \quad (2)$$

em que k_T é o inverso do índice de refração do meio transparente T e k_W é o inverso do índice de refração da água.

Infelizmente, não existe uma fórmula explícita que calcule exatamente o valor de α diretamente de X e Z. Além disso, calibrar o sistema estéreo com esta formulação é um processo iterativo muito demorado e muito suscetível a erros. Para evitar um algoritmo de calibração complexo (ou com grandes erros de medição), em vez de usarmos diretamente a fórmula acima, propomos usar um conjunto de expressões mais simples. Nesta abordagem, é produzida uma primeira estimativa utilizando uma calibração prévia efetuada fora de água e, em seguida, é aplicada uma transformação para fazer face ao efeito de refração; isto permite que se obtenha a computação explícita da solução com um erro de aproximação mínimo. É este processo que iremos explicar com mais detalhe de seguida.

Para um modelo de projeção com um campo de visão estreito (<60°), uma nova formulação foi derivada para substituir a equação (2), ignorando os termos de Taylor de ordem superior a 3, como se mostra abaixo:

$$X = D_A \left(a - \frac{a^3}{6} \right) + D_T k_T \left(a + (3k_T - 1) \frac{a^3}{6} \right) + Z k_W \left(a + (3k_W - 1) \frac{a^3}{6} \right) \quad (3)$$

Ao contrário do que acontece na equação (2), o ângulo a pode ser calculado como solução de uma equação polinomial de terceiro grau (utilizando a fórmula resolvente de uma equação de terceiro grau). Isto significa que a pode ser definido explicitamente em relação a X e Z . Esta abordagem permite reprojeter (explicitamente) um dado ponto 3D no plano da câmara e assim calcular erros no espaço de imagem e estimar os parâmetros intrínsecos e extrínsecos do par de câmaras.

Para duas câmaras paralelas, tal como definidas na Figura 1, podemos combinar as duas equações acima, utilizando as suas projeções na imagem x_1, x_2 (Figura 2) e os respetivos ângulos de incidência a_1, a_2 . Esta combinação pode ser usada para estimar as três coordenadas $(\tilde{X}, \tilde{Y}, \tilde{Z})$ de um dado ponto 3D subaquático, com base numa estimativa inicial (X_A, Y_A, Z_A) , calculada considerando um sistema estéreo convencional, calibrado fora de água. As coordenadas $(\tilde{X}, \tilde{Y}, \tilde{Z})$ podem ser estimadas da seguinte forma:

$$\tilde{X} = X_A \frac{x_1 - x_2}{\cos m(a_1) x_1 - \cos m(a_2) x_2} \quad (4)$$

$$\tilde{Y} = Y_A \frac{x_1 - x_2}{\cos m(a_1) x_1 - \cos m(a_2) x_2} \quad (5)$$

$$\tilde{Z} = \frac{1}{k_W} Z_A \frac{x_1 - x_2}{\cos m(a_1) x_1 - \cos m(a_2) x_2} - D_A - D_T \quad (6)$$

em que

$$\cos m(a) = \frac{\cos a}{\sqrt{1 - k_W^2 \sin^2 a}}$$

Note-se que, nesta formulação, apenas o índice de refração da água é relevante para o cálculo da reconstrução. O índice de refração do meio intermédio (T) tem uma influência negligenciável nos resultados da estimativa.

A formulação apresentada acima foi usada para reconstruir pontos subaquáticos a partir de pontos correspondentes, observados no par estéreo, utilizando uma calibração estéreo padrão, combinada com alguns parâmetros da estrutura subaquática, tais como o índice de refração e a espessura dos meios de transição de luz. Esta abordagem permite simplificar tanto o processo de reconstrução, como as necessidades de calibração, sem descurar, no entanto, o efeito da refração no sistema.

4.2. Implementação do sistema

Como mencionado anteriormente, um dos objetivos deste trabalho é alcançar um sistema estéreo subaquático portátil e compacto, sabendo que uma estrutura compacta é muito mais manobrável e mais robusta às mudanças de calibração. Uma configuração compacta implica que o par estéreo exibe uma distância curta entre as câmaras (*baseline*), o que leva a uma variância maior no erro associado à estimativa de ponto 3D. Este efeito negativo é de certa forma compensado por uma calibração melhor e mais robusta devido à compacidade da estrutura global. Além disso, devido a uma sobreposição razoável entre os campos de visão das duas câmaras (uma vez que as câmaras estão próximas uma da outra), somos capazes de trabalhar num campo de visão relativamente estreito, condição necessária para tornar válidas as expressões deduzidas em 4.1.

O protótipo proposto (Figura 4) consiste num par de câmaras com uma *baseline* de dez centímetros, integrado dentro de um recinto de acrílico sólido estanque, capaz de suportar condições subaquáticas profundas. Ambas as câmaras estão encostadas a uma das paredes planas do recinto, cujo material tem dez milímetros de espessura, minimizando a distância entre câmaras e água. Dentro deste recinto acrílico, além das câmaras, estão incluídos um mini pc e cabos de ligação.

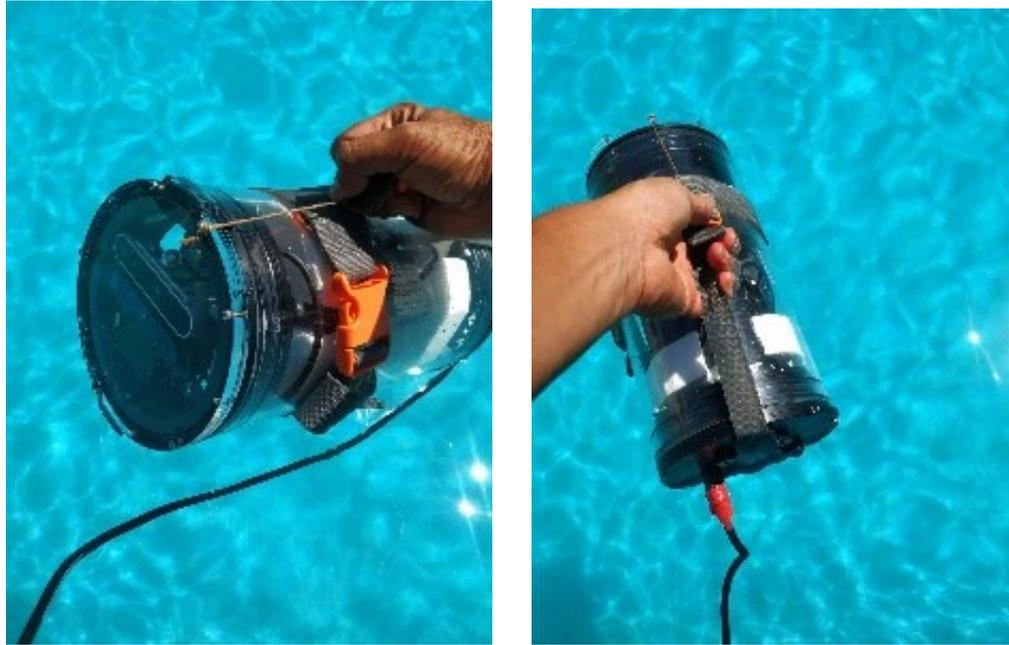


Figura 4. Duas vistas do protótipo desenvolvido.

O sistema tem um cabo de alimentação, embora a existência de baterias possa ser uma opção. O sistema é capaz de comunicar através do cabo Ethernet ou Wi-Fi (neste caso só funciona quando se encontra à superfície da água). Na nossa implementação, o sistema é sempre usado à superfície, meio mergulhado em água, permitindo o acesso via Wi-Fi. Isto permite visualizar e parametrizar o software remotamente em tempo real e capturar novas imagens quando necessário.

4.3. Resultados experimentais

Foram realizadas várias experiências, tanto num ambiente simulado como em ambiente real, com diferentes níveis de turbidez da água. No ambiente simulado, vários cenários foram testados para verificar se o modelo teórico estava próximo ou não do real, e como se comportava dentro dos limites da gama de validade.

Numa primeira experiência, experimentou-se mover a amostra ao longo de uma linha horizontal entre dois limites da imagem e verificar até que ponto a sua localização na imagem induz um erro no comprimento estimado. O erro foi calculado tendo em conta a diferença entre cada estimativa (dada pelo sistema) e o comprimento real do peixe, dividido pelo comprimento real (em %).

A Figura 5a mostra o erro de estimativa quando o movimento do peixe é realizado em profundidade constante, à mesma distância de ambas as câmaras (0.8m). O erro observado tem uma forma aproximadamente parabólica, sendo mais expressivo nos limites da imagem, mas sem exceder o erro de 1%. A Figura 5b mostra o erro de estimativa quando o peixe é colocado num ponto mais distante das câmaras (2m) e a sua trajetória permanece a esta distância. Neste caso, o erro observado torna-se insignificante (menos de 0,3%) para todas as posições.

Numa terceira experiência (Figura 5c) queremos avaliar se o sistema é robusto a estimar o comprimento do peixe com diferentes poses, ou seja, se a medição permanece constante mesmo quando o peixe gira sobre si mesmo.

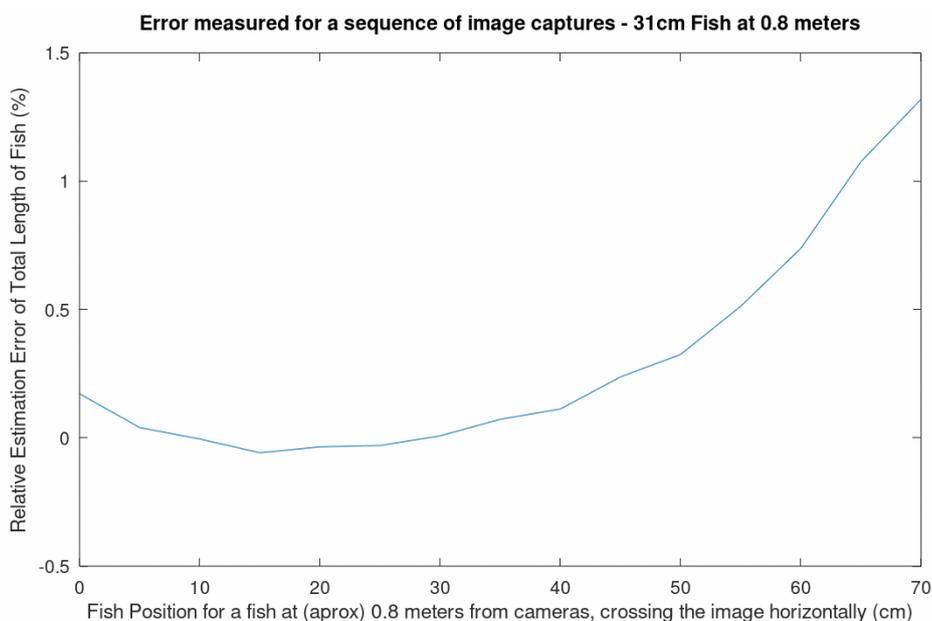


Figura 5a. Erro medido para um peixe em movimento, a 0.8 metros.

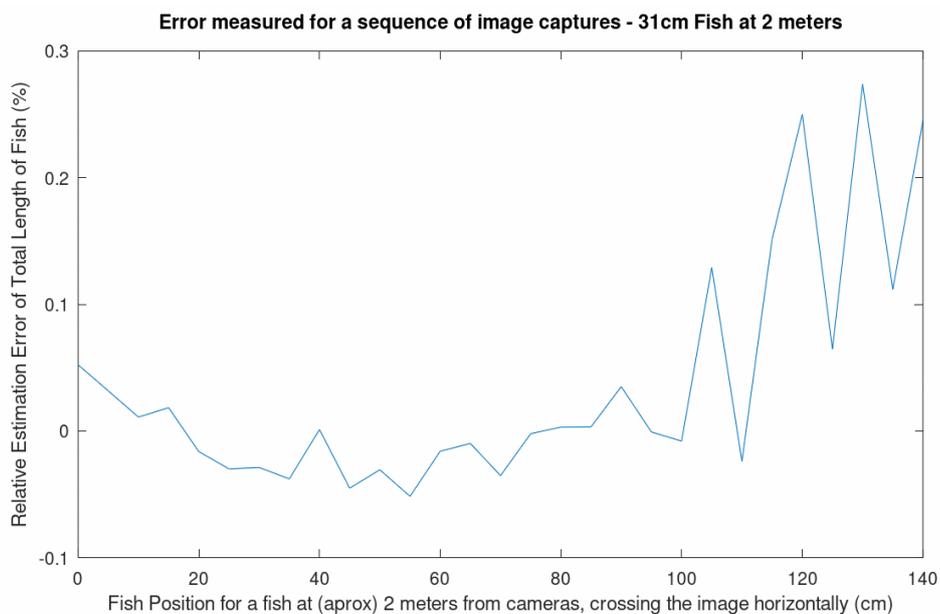


Figura 5b. Erro medido para um peixe em movimento, a 2 metros.

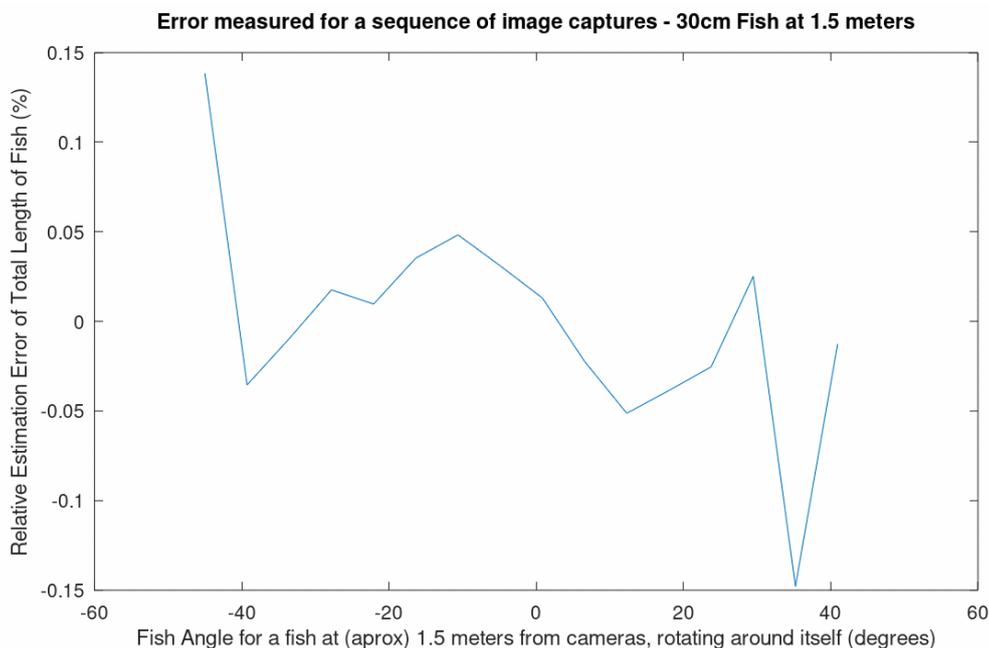


Figura 5c. Erro medido para um peixe que gira sobre si próprio na posição fixa (1,5 m)

Acontece que, se a amostra girar entre -40 e 40 graus, o erro de medição é insignificante (menos de 0,15%), o que demonstra que o sistema mede bem, mesmo quando a

barbatana caudal e a cabeça não estão à mesma distância das câmaras. Várias experiências foram feitas num ambiente real, nomeadamente na água com diferentes níveis de turbidez, com maior ou menor grau de concentração de peixes. Como mostrado na Figura 6, o par estéreo tira imagens em duas perspetivas diferentes (representadas pelas Figuras 6a e 6b), de modo que a paralaxe observada em cada ponto do peixe permita recuperar a sua informação de profundidade. Nesta experiência, o método é aplicado para espécimes que são totalmente visíveis, e os resultados são sobrepostos à imagem, a vermelho, na Figura 6b. Como se esperava, os peixes não estão todos à mesma profundidade, nem estão na mesma pose relativamente ao solo. No entanto, o método estimou as posições reais da barbatana caudal e do nariz do peixe. Para estimar melhor os comprimentos, especialmente para os peixes que são dobrados, foi implementado um método de estimativa dos comprimentos por secções, estimando dois pontos de controlo intermédios ao longo do peixe. Neste caso, o comprimento total corresponde ao integral de linha calculado ao longo da curva definida pelos pontos de controlo seleccionados e as extremidades de peixe.



Figura 6a. Imagem captada pela câmara esquerda.

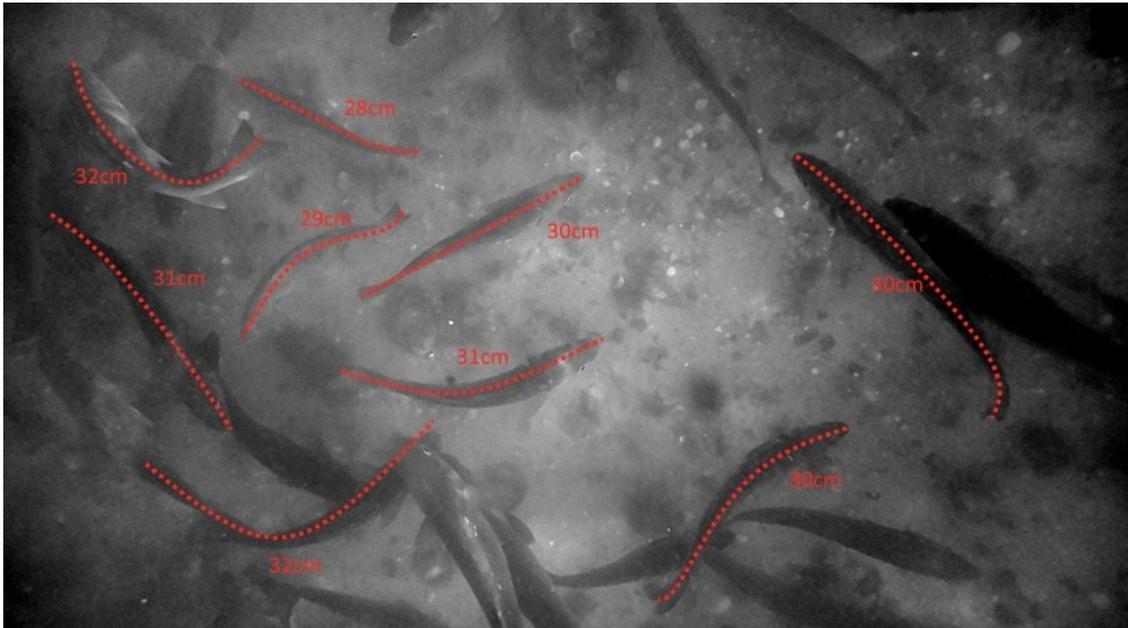


Figura 6b. Imagem captada pela câmara direita, onde as medidas aparecem sobrepostas (a vermelho).

4.4. Conclusões

Este projeto desenvolveu um sistema de visão estéreo de baixo custo, fácil de utilizar, para medir os peixes vivos num ambiente aquático, sem a necessidade de uma calibração exigente. O sistema tem uma *baseline* curta (na ordem de 100mm) e um ROI (Região de Interesse do FOV, medido em graus) de 60 graus. Demonstrou-se que o sistema é capaz de medir os peixes com um erro inferior a 1%, utilizando uma calibração padrão. Foi realizado um conjunto de experiências, trabalhando robustamente para um conjunto de orientações e posições do peixe.

Os principais contributos deste trabalho são os seguintes:

- (1) demonstrou-se que uma *baseline* curta e um campo de visão estreito reduzem significativamente o efeito negativo da refração na reconstrução estéreo;
- (2) propõe-se um método novo e simples para calcular a reconstrução 3D subaquática: este método produz uma primeira estimativa utilizando uma calibração prévia efetuada

fora de água e, em seguida, aplica uma transformação à primeira estimativa para lidar com o efeito de refração em diferentes meios;

(3) é demonstrado que, em determinadas condições, apenas o índice de refração da água é relevante para obter a reconstrução 3D (ou, equivalentemente, o parâmetro de refração das substâncias intermédias pode ser negligenciado).

5. Indicadores científicos de realização e resultados obtidos

Os indicadores científicos definidos em sede de candidatura foram cumpridos, como resultado do trabalho realizado neste projeto, tal como se enumeram de seguida:

- a) Submissão da patente provisória com nº processo 118333, com o título “A COMPACT UNDERWATER STEREO VISION SYSTEM FOR MEASURING FISH”, que aguarda parecer técnico do INPI (ver documento em anexo);
- b) Escrita e submissão de um artigo científico intitulado “A COMPACT UNDERWATER STEREO VISION SYSTEM FOR MEASURING FISH” ao jornal “Aquaculture and Fisheries” da Elsevier, que aguarda revisão (ver documento em anexo);
- c) Submissão e aceitação do poster intitulado “CALIBRATION-FREE UNDERWATER STEREO VISION SYSTEM FOR MEASURING FISH”, à conferência “World Aquaculture” que decorreu em Singapura, na qual não foi possível a comparência por parte da Fishmetrics por razões de pandemia (ver documento em anexo).
- d) Desenvolvimento de um protótipo físico e totalmente funcional, cujas fotografias se mostram na Figura 4.

6. Dificuldades, fatores de risco e alterações ao projeto

O desenvolvimento de um sistema de visão para o meio aquático enfrentou vários desafios técnico-científicos:

1. encontrar/adaptar hardware de forma a interagir com o meio aquático (problemas de impermeabilização, posicionamento, estabilização da estrutura) – para tal encontrou-se um invólucro adaptado para o efeito e que permitiu introduzir os dois sensores (infravermelho e sistema binocular) e o computador dentro do meu espaço impermeabilizado. Esta estrutura permite ter ligação via wi-fi (quando se encontra à superfície da água) e um cabo elétrico que alimenta o hardware instalado (Figura 4). A estrutura pode submergir abaixo dos 100 metros de profundidade, apesar de tal não ser necessário na presente aplicação.
2. Lidar com problemas da propagação da luz no meio aquático: observaram-se problemas de refração da luz entre meios ar/água/lentes, de atenuação da luz (falta de visibilidade), existência de partículas em suspensão, difração da luz; o scanner infravermelho foi, de longe, o mais afetado por estes fatores, pelo que não se recomenda a sua utilização em meio aquático; para reduzir tais efeitos no sistema binocular usaram-se câmaras com baseline estreita e com a geometria indicada na secção 4.1.
3. Lidar com problemas de calibração do sistema e calcular um modelo de projeção de luz em meio aquático, tal como foi realizado na secção 4;
4. Lidar com objetos em movimento e movimento não estruturado (peixe vivo), o que foi conseguido usando câmaras binoculares sincronizadas por hardware;
5. Identificar na imagem, com precisão, a posição da cauda e da boca do peixe (necessários à medição do seu comprimento total);

Outra dificuldade encontrada, mais de ordem prática, foi experimentar e aplicar o sistema no ambiente específico definido no presente projeto, porquanto a sua realização requer o acesso a tanques ou espaços similares, de modo que seja possível adquirir imagens de peixe nesse ambiente. A aquisição de imagens realizou-se em duas fases distintas: primeiro, experimentou-se um protótipo inicial dentro de um aquário simples com objetos estáticos, em tanque próprio e em tanques do Departamento de Oceanografia e Pescas; numa fase posterior, as experiências foram realizadas em

tanques com peixe vivo quer no Aquário de Porto Pim na Horta, quer na Estação Piloto do IPMA em Olhão.

Os principais fatores de risco prenderam-se, assim, primeiro com a dificuldade de aceder a um set-up experimental associado a um meio aquático, e numa fase seguinte com a dificuldade em operar o sistema nesse meio e o tipo de problemas encontrado nessa operação, pelo que os testes foram mais morosos do que inicialmente previsto, e exigiram muitas repetições. Nessa medida, durante a fase de testes, constatou-se ser necessário um aumento substancial do número experiências, de forma a melhorar a robustez e eficiência dos sistemas desenvolvidos no âmbito do projeto. Esta necessidade foi mais relevante tendo em conta os testes em meios reais com altos níveis de turbidez da água. Nessa medida, para proceder à aquisição, teste, validação, pedimos uma extensão de tempo para as Atividades 6 e 7 (Desenvolvimento do Protótipo e Testes e validação do sistema), que foi concedida. Esse pedido manteve inalterados os objetivos do projeto e não exigiu reprogramação financeira do projeto, pelo que o orçamento e os objetivos não se alteraram relativamente aos propostos na candidatura.

7. Impactos

A FISHMETRICS tem seguido, desde a sua formação, uma estratégia de desenvolvimento e apresentação de produtos inovadores na área das pescas, de know-how específico em Visão por Computador e Processamento de Imagem e nessa medida pretende estar na vanguarda dos produtos e soluções nas tecnologias do mar. Por essa razão, a FISHMETRICS aposta em quadros altamente qualificados neste campo, e através de parcerias com o Departamento de Oceanografia e Pescas na Horta (DOP), tem desenvolvido projetos próprios com uma forte componente em I&D.

As áreas de investigação fundamental consistem na análise e na metrologia sem contacto de pescado em lotas e a bordo. Estas tecnologias são necessárias quer para o Plano de Amostragem Nacional de cada país, quer para os intervenientes da fileira do pescado, como armadores, distribuidores, lotas e clientes, onde podemos incluir organismos de fiscalização e controlo. O perfil do cliente tem sido fundamentalmente institucional ou de participação pública.

A FISHMETRICS detetou novas oportunidades na área da Aquacultura, que apresenta igualmente uma necessidade sistemática de análise de tamanhos para a sua atividade. Oferecer uma solução sem contacto e de baixo custo foi apontada por vários clientes como um produto de elevado interesse.

Assim, a introdução da MEDUSA representou o desenvolvimento de uma nova ferramenta que pode (1) ser vendida aos clientes atuais, complementando o produto atual, e (2) potenciar a angariação de novos clientes (porque melhora a oferta atual). Isto alargará o mercado atual, encontrando novas aplicações no sector das pescas para além do Plano de Amostragem, nomeadamente no sector privado da Aquacultura.

O protótipo desenvolvido no presente projeto encontra-se **a um nível de maturidade tecnológica TRL 5**. Nos próximos anos a FISHMETRICS aposta em desenvolver o

sistema MEDUSA para as fases TRL posteriores, o que permitirá chegar à fase de pré-industrialização e a um produto final pronto a chegar ao mercado.

O projeto MEDUSA será essencial para um reforço significativo das competências de I&D da FISHMETRICS, não só com o reforço dos recursos humanos, como também com o fomento das relações colaborativas com instituições de reconhecido mérito:

(1) o **Instituto de Sistemas e Robótica** (ISR-Lisboa);

(2) o **Departamento de Oceanografia e Pescas** (DOP) da Universidade dos Açores.

(3) **IPMA**, onde apresenta um grupo com extenso trabalho na área da Aquacultura.

Neste caso, sendo um projeto individual, o contributo no desenvolvimento das atividades de I&D por parte da FISHMETRICS é 100%, tal como a apropriação dos resultados gerados em termos de propriedade intelectual. As atividades de I&D foram realizadas exclusivamente pelos recursos internos da FISHMETRICS.

8. Plano de Disseminação e Divulgação

A estratégia de divulgação contempla duas fases principais: uma fase inicial de **divulgação dos resultados obtidos**, tendo em vista a divulgação do potencial do produto junto dos profissionais da área, e uma fase de divulgação/demonstração do produto com base num protótipo e nos resultados experimentais obtidos.

Mantemos a informação genérica sobre o projeto na página web construída para o efeito, que pode ser visitada livremente em <http://www.fishmetrics.pt/medusa.html>. Complementarmente redigiram-se e submeteram-se um artigo para divulgação técnico-científica e divulgação tecnológica num congresso de relevância internacional na Aquacultura e um artigo mais extenso e pormenorizado para uma revista também de relevância internacional dentro do setor (ver Secção 5) .

Procedemos à proteção da Propriedade Intelectual gerada, nomeadamente através do registo de patentes (ver Secção 5). O processo de proteção também permitirá a

divulgação pública dos inventos, pelos meios de comunicação habituais construídos para o efeito (INPI e WIPO).