



DEFINIÇÃO DO PERFIL DA SUPERFÍCIE LIVRE DO ESCOAMENTO UTILIZANDO VISÃO COMPUTACIONAL

Jorge M. G. P. ISIDORO ¹, Ricardo MARTINS ², José ROQUE ³, Rita F. CARVALHO ⁴, João L. M. P. DE LIMA ⁵

1. Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia, Universidade do Algarve, Faro; Centro de Ciências do Mar e do Ambiente (MARE), Coimbra, jisidoro@ualg.pt
2. Earth Surface Process Team, Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM), Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal, ricardo.d.martins@ua.pt
3. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra; jose.roc@gmail.com
4. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra; Centro de Ciências do Mar e do Ambiente (MARE), ritalmfc@dec.uc.pt
5. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra; Centro de Ciências do Mar e do Ambiente (MARE), Coimbra, plima@dec.uc.pt

RESUMO

O presente trabalho visa descrever uma metodologia desenvolvida para definição do perfil da superfície livre do escoamento recorrendo à técnica de visão computacional. O sistema, concebido para ser utilizado em canais experimentais (em laboratório), tem como premissas: baixo custo, simplicidade de aquisição da informação, utilização de equipamento vídeo não-especializado e versatilidade do uso para diferentes regimes de escoamento. A metodologia desenvolvida foi validada através de um conjunto de testes laboratoriais realizados no Laboratório de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Para análise do escoamento com superfície livre, foi utilizado um canal com recirculação da água, e capacidade de controlo do caudal e da rugosidade de fundo. A metodologia desenvolvida mostrou capacidade para, cumprindo com as premissas, permitir a definição do perfil da superfície livre do escoamento.

Palavras-Chave: Superfície livre; visão computacional; técnicas laboratoriais; canal hidráulico.

1. INTRODUÇÃO

A engenharia hidráulica é uma área que se reveste de elevada complexidade, devido à grande diversidade de escalas geométricas e temporais dos sistemas e fenómenos hidráulicos, à não-linearidade da mecânica de fluidos, à instabilidade natural dos fluidos, às interações entre a água e as fronteiras sólidas (naturais ou artificiais) ou atmosféricas, e até à total dependência da água por parte do Homem (Chanson, 2004). Os escoamentos com superfície livre são uma área profundamente estudada no domínio da Engenharia Hidráulica, embora o seu estudo não seja unicamente restrito a este domínio. Os escoamentos são ainda, nos dias de hoje, considerados como um dos mais complexos processos físicos ambientais (e.g., Szymkiewicz, 2010). Por motivo da referida elevada complexidade, os modelos físicos foram desde sempre um instrumento fundamental para a análise dos escoamentos com superfície livre.

A última década trouxe importantes avanços nas técnicas associadas à aquisição e análise de imagens, técnicas englobadas no que atualmente se designa por “visão computacional” (e.g., Spencer Jr. et al. 2019). Neste trabalho foi desenvolvida uma metodologia, com base em técnicas de tratamento e segmentação de imagens, que permite detetar a superfície livre do escoamento, ao longo do tempo e do espaço, em canais de escoamento com superfície livre em laboratório. Foi objetivo geral deste trabalho desenvolver e validar um algoritmo para deteção da superfície livre com elevada resolução temporal e espacial. Foram objetivos específicos: verificar a validade do mesmo para acentuadas oscilações da superfície livre, resultantes da variação geométrica do leito, da sua

inclinação e do caudal escoado, bem como averiguar da exequibilidade da utilização sistemática de equipamento vídeo não-especializado (i.e., de baixo custo) para a realização deste tipo de estudo, sem comprometer a sua exatidão.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Todo o trabalho laboratorial teve lugar no Laboratório de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. O canal de escoamento com superfície livre utilizado para os ensaios tem comprimento de 3.00 m e largura de 0.15 m, permitindo ajuste da sua inclinação. O canal é abastecido, em circuito fechado, a partir de um reservatório com 0.5 m³ por meio de uma bomba e sistema de tubagens, sendo o caudal controlado com uma válvula de esfera. A entrada e a saída da água são livres, sendo que as velocidades e alturas de água do escoamento são unicamente dependentes do caudal, e da rugosidade e inclinação do leito. Para mais detalhes sobre o canal utilizado ver Abrantes et al. (2019) e Ferreira et al. (2006).

O algoritmo para deteção da superfície livre desenvolvido neste estudo, com o qual se pretendia garantir elevada resolução temporal e espacial é baseado na aquisição, análise e segmentação de imagens. O *software* SIMULINK foi a ferramenta computacional utilizada por facilidade de programação em “blocos” com interações lógicas e sem necessidade de noções de programação. A ferramenta *computer vision system toolbox* (Martins et al. 2012; Roque, 2011) dispõe de “blocos” matemáticos, como ferramentas de deteção de arestas e retas que foram usadas no algoritmo. Estas funções reconhecem as arestas presentes numa imagem por gradiente de intensidade da imagem assim como o maior segmento de reta presente na imagem, que, neste caso, corresponde à superfície livre. Como a deteção automática encontra apenas o maior segmento de reta, é necessário limitar a largura da secção em análise a um valor reduzido, no qual se possa considerar o gradiente da superfície livre como constante sem erro significativo, mas não tão reduzido ao ponto que outras retas detetadas possam ser confundidas com a superfície livre. Neste caso de estudo, foram considerados 50 pixéis, correspondentes a 20 mm. A distância entre a superfície livre e o fundo corresponde à altura do escoamento, sendo esta mensurável ao longo do tempo (duração do vídeo) e do espaço (área captada no filme). A Fig. 1 ilustra o conjunto de operações a efetuar para obtenção do perfil da superfície livre do escoamento.

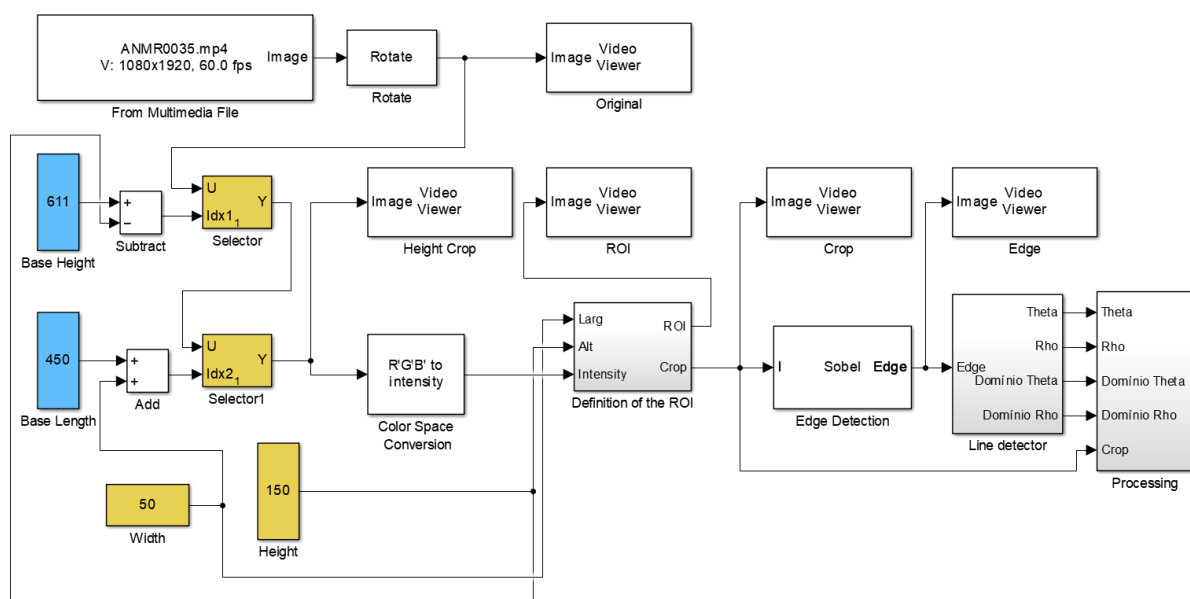


Fig. 1. Fluxograma das operações a efetuar para obtenção do perfil da superfície livre do escoamento

Para iluminar a instalação experimental foi utilizado um holofote de 1000W, com difusores para que a superfície livre tivesse o maior contraste possível. Assim, o holofote foi colocado o mais possível na perpendicular à superfície livre. A câmara de filmar utilizada foi uma NK-Gamma4K60, com definições de vídeo a 1080 p e 60 fps. O aumento do número de *frames* implica o uso de iluminação adicional uma vez que o tempo de abertura do diafragma é reduzido. A água foi corada de verde, usando corante alimentar, e no fundo lateral do canal foi fixado um painel branco de modo a aumentar o contraste de tonalidade entre o escoamento de água e a fronteira sólida (fundo do canal).

3. RESULTADOS

É apresentada aqui de uma forma muito simplificada, através de dois conjuntos de imagens (Figs. 2 e 3), a sequência de análise que permite determinar o perfil da superfície livre do escoamento. A Fig. 2 (cima) mostra uma secção do canal onde está a escoar água sobre um leito rugoso, de onde se destaca uma secção com largura de 400 mm (correspondente ao retângulo de cor azul) e que corresponde à Fig. 2 (baixo), onde o retângulo de cor laranja corresponde à área em análise, com uma largura de 20 mm.

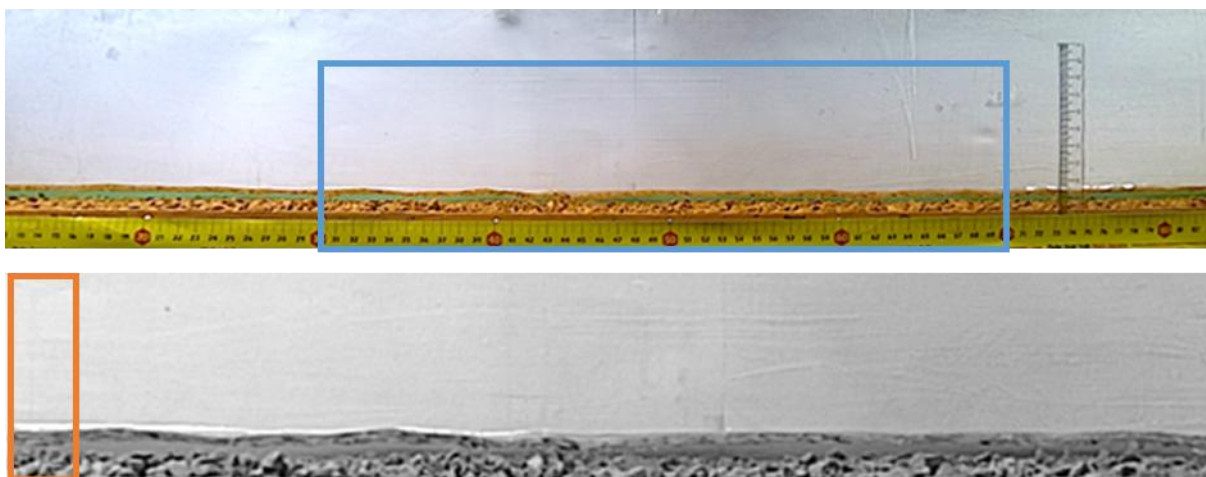


Fig. 2. Imagem original (bruta) parcial do canal (cima); b) Imagem em escala-de-cinzentos correspondente a secção do canal com largura de 400 mm (baixo) e onde se destaca a área em análise com largura de 20 mm

A Fig. 3 (esquerda) apresenta o recorte correspondente ao retângulo de cor laranja da Fig. 2 (baixo). Na Fig. 3 (centro) são apresentadas as arestas detetadas pelo algoritmo na mesma área, sendo que a aresta correspondente ao maior segmento de reta (a cor azul), é coincidente com a superfície livre, sendo esta assim definida.

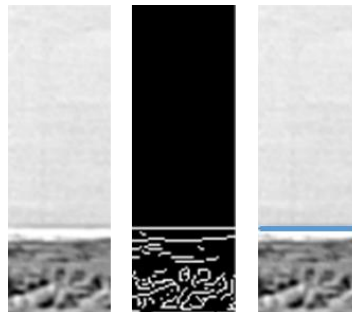


Fig. 3. Secção em análise com a metodologia proposta, numa secção com 20 mm de largura (50 pixéis) (esquerda); Detecção de arestas na secção em análise (centro); Segmento de reta com maior largura (a azul) (direita)

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentada a utilização de uma técnica de visão computacional construída em SIMULINK para definição do perfil da superfície livre num escoamento em canal hidráulico com paredes transparentes (de vidro ou acrílico). Este tipo de abordagem facilita o trabalho laboratorial, muitas vezes moroso e monótono, devido ao grande número de medições a efetuar, ou dispendioso, devido ao custo de sensores de elevada precisão que também permitem adquirir a altura do escoamento. A metodologia desenvolvida permite assim definir a superfície livre ao longo do tempo e do espaço de uma forma simples e com baixo custo, pois utiliza equipamento vídeo não-especializado e de forma versátil, podendo ser utilizada em situações com diferentes regimes de escoamento.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi suportado pela Fundação Portuguesa para a Ciência e Tecnologia (FCT), através do projeto ASHMOB (02/SAICT/2017) atribuído ao CESAM e do projeto estratégico UID/MAR/04292/2019 atribuído ao MARE. Os autores agradecem o auxílio do Sr. Joaquim Cordeiro na preparação do canal de laboratório.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrantes J, Moruzzi R, de Lima J, Silveira A, Montenegro A (2019) Combining a thermal tracer with a transport model to estimate shallow flow velocities. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 109, 59-69.
- Chanson H (2004) *Hydraulics of Open Channel Flow*. Elsevier Butterworth-Heinemann, 650 pp.
- Ferreira V, Graça M, de Lima J, Gomes R (2006) Role of physical fragmentation and invertebrate activity in the breakdown rate of leaves. *Archiv für Hydrobiologie*, 165(4), 493-513.
- Martins R, Carvalho R, Leandro J, Lopes P, Roque J (2012) Estudo do comportamento hidráulico de um sumidouro em modelo numérico openfoam™. *Atas do 11º Congresso da Água*, Porto, Portugal.
- Roque J (2011) *Medição de alturas de água usando visão computacional num modelo de Simulink*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra, Portugal.
- Spencer Jr B, Hoskere V, Narazaki Y (2019) Advances in Computer Vision-Based Civil Infrastructure Inspection and Monitoring. *Engineering*, 5(2), 199-222.
- Szymkiewicz R (2010) *Numerical Modeling in Open Channel Hydraulics*. Springer Science & Business Media, 370 pp.