

# EMPREGO DE CÂMERA DE ALTA VELOCIDADE NA ANÁLISE DE RUPTURA DE BARRAGEM HIPOTÉTICA

Aluno: Lélis Espartel; Orientador: Rafael Manica.

## INTRODUÇÃO

A câmera de alta velocidade é utilizada para analisar diversos campos de aplicação, como testes de impacto, explosões, balística, resposta do corpo humano, análise de fluidos, etc. Este trabalho se propõe a utilizá-la para fazer a análise da frente de onda oriunda da ruptura de uma barragem, a qual será observada através de um modelo físico, em escala reduzida.

O objetivo principal do trabalho é a verificação da eficácia e eficiência da utilização de uma câmera de alta velocidade como ferramenta para identificação e avaliação de fenômenos hidráulicos que compõem o processo da formação e propagação da frente de onda oriunda da ruptura de uma barragem hipotética.

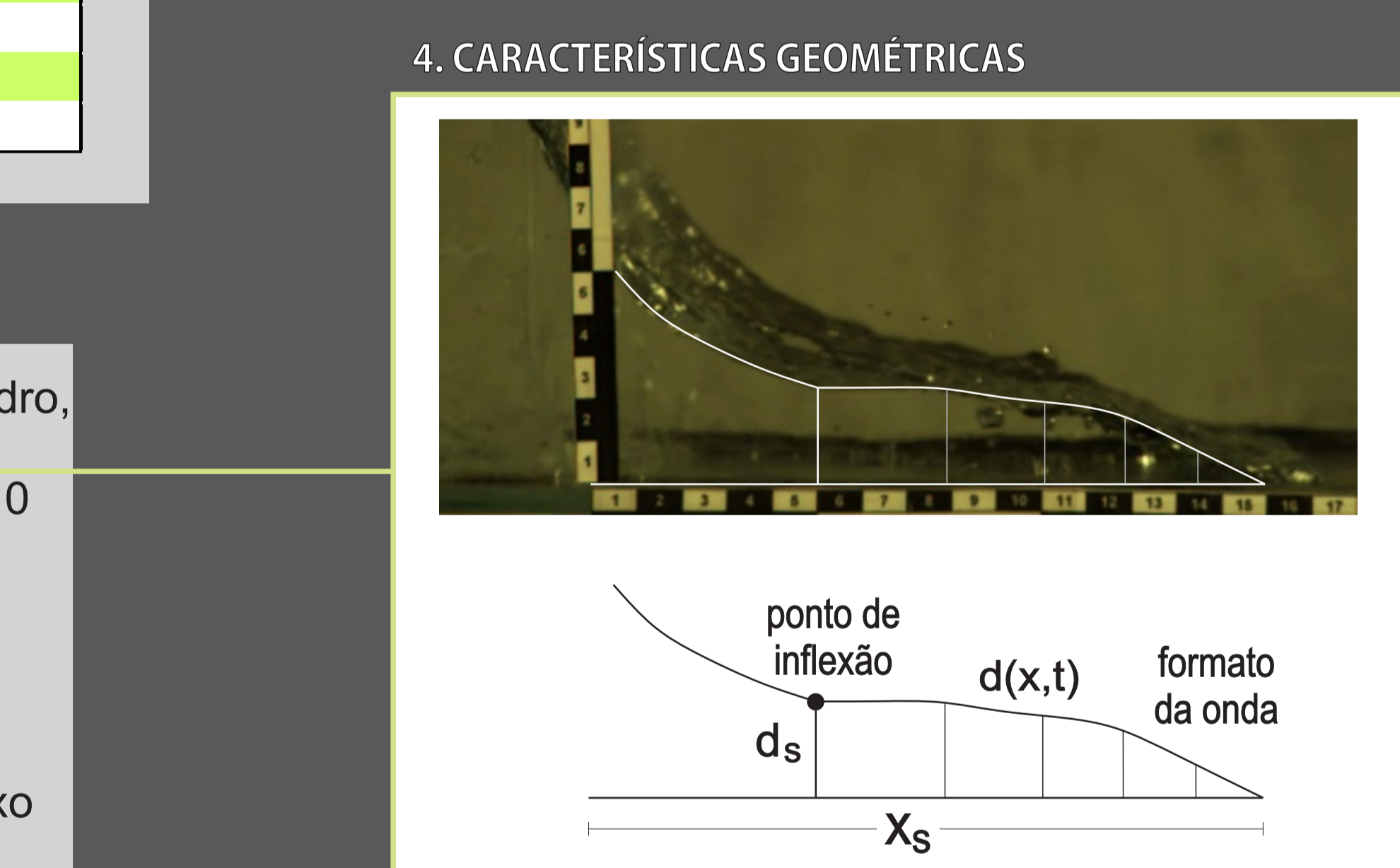
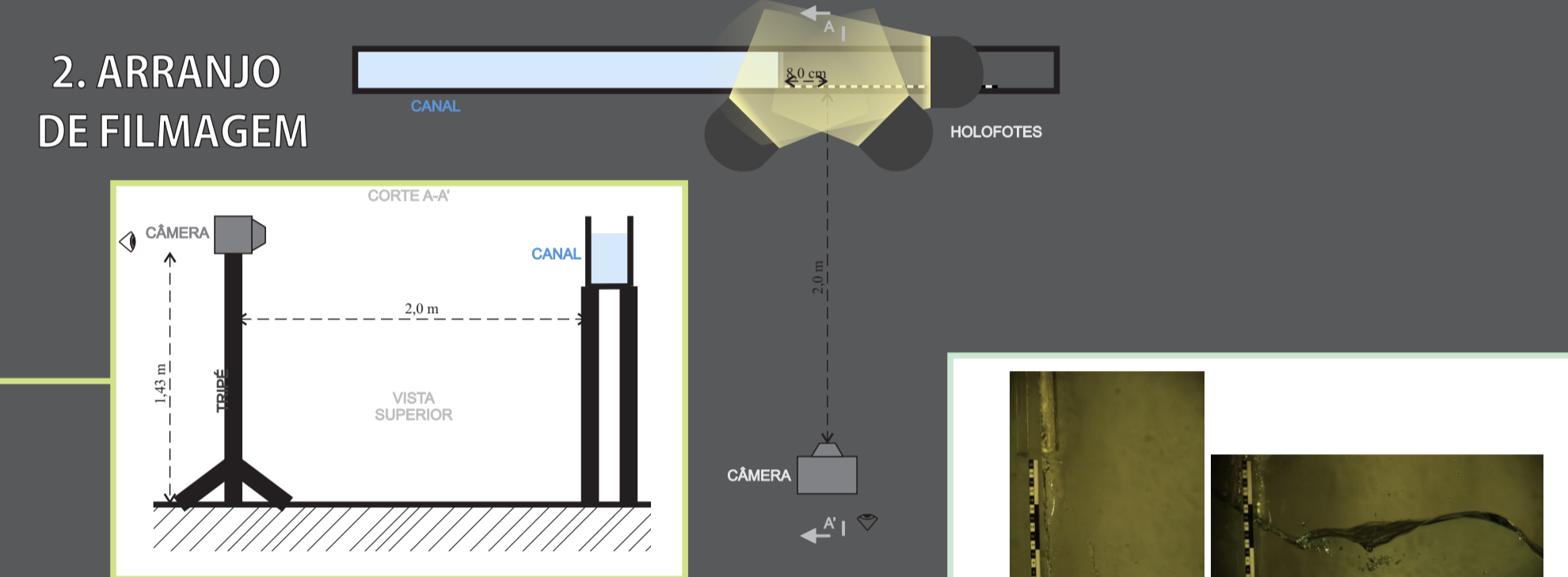
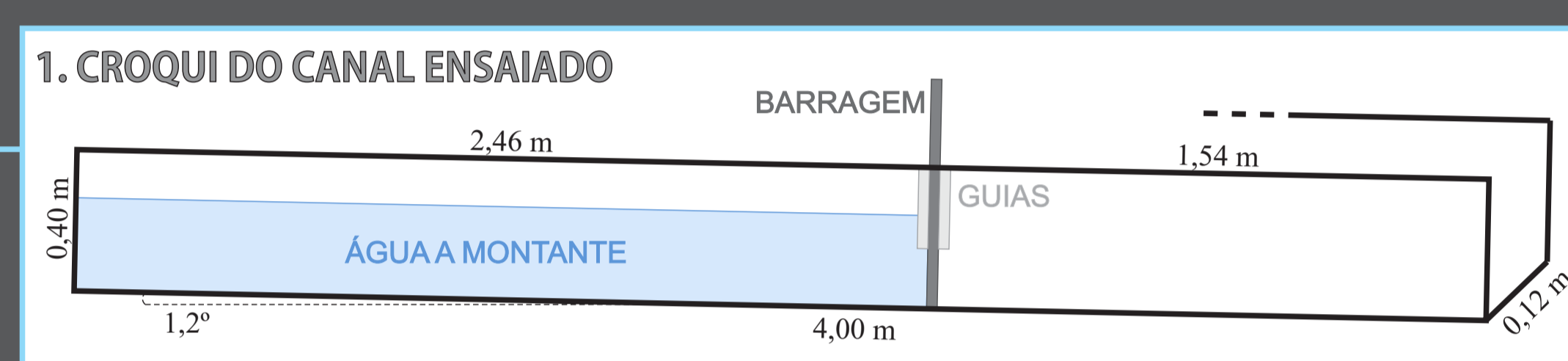
Os objetivos secundários são compostos por:

- desenvolvimento de uma metodologia, em modelo reduzido, de visualização de fenômenos hidráulicos oriundos da ruptura de uma barragem, utilizando câmera de alta velocidade;
- registro em mídia de fenômenos hidráulicos que regem a frente de onda oriunda da ruptura de uma barragem, resultando na criação de um acervo digital;
- identificação de elementos geométricos e cinemáticos característicos desse fenômeno hidráulico.

## APARATO EXPERIMENTAL

A ruptura da barragem foi modelada a partir da adaptação de um canal de vidro conforme figura 1. Essa adaptação consistiu em instalar uma placa de acrílico no canal, de forma a estancar o fluxo da água e criar um desnível, simulando assim o barramento de um curso d'água. A retirada abrupta da placa equivale à ruptura instantânea de uma barragem hipotética.

A Fastec é uma câmera de alta velocidade que consegue gravar a uma alta taxa frames por segundo (fps), entre 506 até praticamente 300000 fps. Para se ter uma ideia de ordem de grandeza, um filme cinematográfico comum utiliza uma taxa de 36 quadros por segundo em suas filmagens. A quantidade de quadros captados por segundo pela Fastec é função das dimensões da área do enquadramento da câmera e da duração da filmagem. A figura 2 mostra como foi o arranjo de filmagem utilizado durante os ensaios.



## ENQUADRAMENTOS

A figura 3 apresenta os enquadramentos da câmera utilizados. O enquadramento 1 capturou uma imagem de 1280 x 700 pixels. Já o enquadramento 2 capturou uma imagem de 704 x 700 pixels. Os dois primeiros enquadramentos foram utilizados para NA da água na barragem variando de 5 a 20 cm. Outros dois enquadramentos foram utilizados apenas para os cenários com o nível da água à montante igual a 30 centímetros: o enquadramento 3, onde a altura da lâmina d'água a jusante foi igual a 5 cm, com a tela em 1200 x 700 pixels e o enquadramento 6 de 704 x 1000 pixels, sendo o canal vazio a jusante.

Enquadramento	Área (cm²)	Resolução (pixel)	Quadros por segundo
1	40x24	1260x700	739
2	21x21	704x700	1190
3	36x22	1200x700	835
6	20x30	704x1000	639

## RESULTADOS

Ao fim de cada ensaio, analisando a geometria da onda, quadro a quadro, foi possível obter os seguintes parâmetros (figura 4):

- comprimento da frente de onda  $x_s$  em função do tempo, sendo  $x_s = 0$  no instante  $t = 0$ , momento de início de movimento da massa de água;
- espessura  $d$  da frente de onda em função do tempo e da posição;
- ponto de inflexão da frente de onda em função do tempo, correspondente à espessura  $d(x,t)$  da frente de onda;
- velocidade da frente de onda;
- tempo decorrido para retirar por completo a placa que estanca o fluxo de água, caracterizando assim a instantaneidade do fenômeno.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse método pode ser considerado eficiente devido aos seguintes aspectos:

- Apenas uma filmagem tem como resposta: velocidade, comprimento, e espessura da onda, formato geométrico da onda e tempo de retirada da placa;
- Minutos após a realização do ensaio, os dados brutos já estão disponíveis em arquivos digitais;
- Aparatos físicos, como a própria câmera, tripé e holofotes, são relativamente leves e também desmontáveis, podendo ser transportados com facilidade para qualquer lugar onde seja necessária a filmagem de algum ensaio em modelos reduzidos.

Os objetivos secundários, inerentes à busca da resposta para a questão principal deste trabalho, foram atingidos de tal forma, que agora é possível afirmar que existe uma metodologia de visualização do rompimento de barragem. Também estão registrados em mídia mais de 20 cenários de ensaio de ruptura de barragem, sendo que 9 foram utilizados nesta pesquisa e todos estão disponíveis para futuras pesquisas, formando, assim, um acervo técnico de vídeos sobre o fenômeno.

Das filmagens aqui analisadas foi possível distinguir os elementos geométricos e cinemáticos que caracterizam a onda de ruptura. Como principais dados obtidos pela super câmera, é válido salientar os seguintes:

- a abertura da placa teve uma velocidade próxima de 0,9 m/s, sendo a mais rápida realizada em 0,09 segundos e a mais demorada em 0,16 segundos;
- a estabilização do ponto de ruptura pelo qual a onda se propaga, proposto por Chanson (2004) para canais horizontais como 4/9 da altura do NA da barragem, pode também ser verificada para os experimentos realizados com inclinação de 1,2° com a horizontal;
- foi possível identificar, com considerável nível de detalhamento, o formato geométrico com o qual a onda se desenvolveu ao longo dos seus primeiros 17 cm de propagação. Com um início rápido e pouco definido a onda foi tomando formato de cunha ao longo de sua propagação;
- a partir dessa mesma análise da forma geométrica, também foi possível identificar as velocidades instantâneas com as quais a onda se propagou ao longo do tempo. Foi identificado que a onda avança em picos altos e baixos de velocidade, que ficam entre 0,3 e 3 m/s;
- a velocidade média quando a onda atinge 17 cm de comprimento aumenta de forma logarítmica em função do NA na barragem. O valor para um NA de 5 cm é de 0,9 m/s e para NA de 30 cm é aproximadamente 1,7 m/s.

## RESUMO

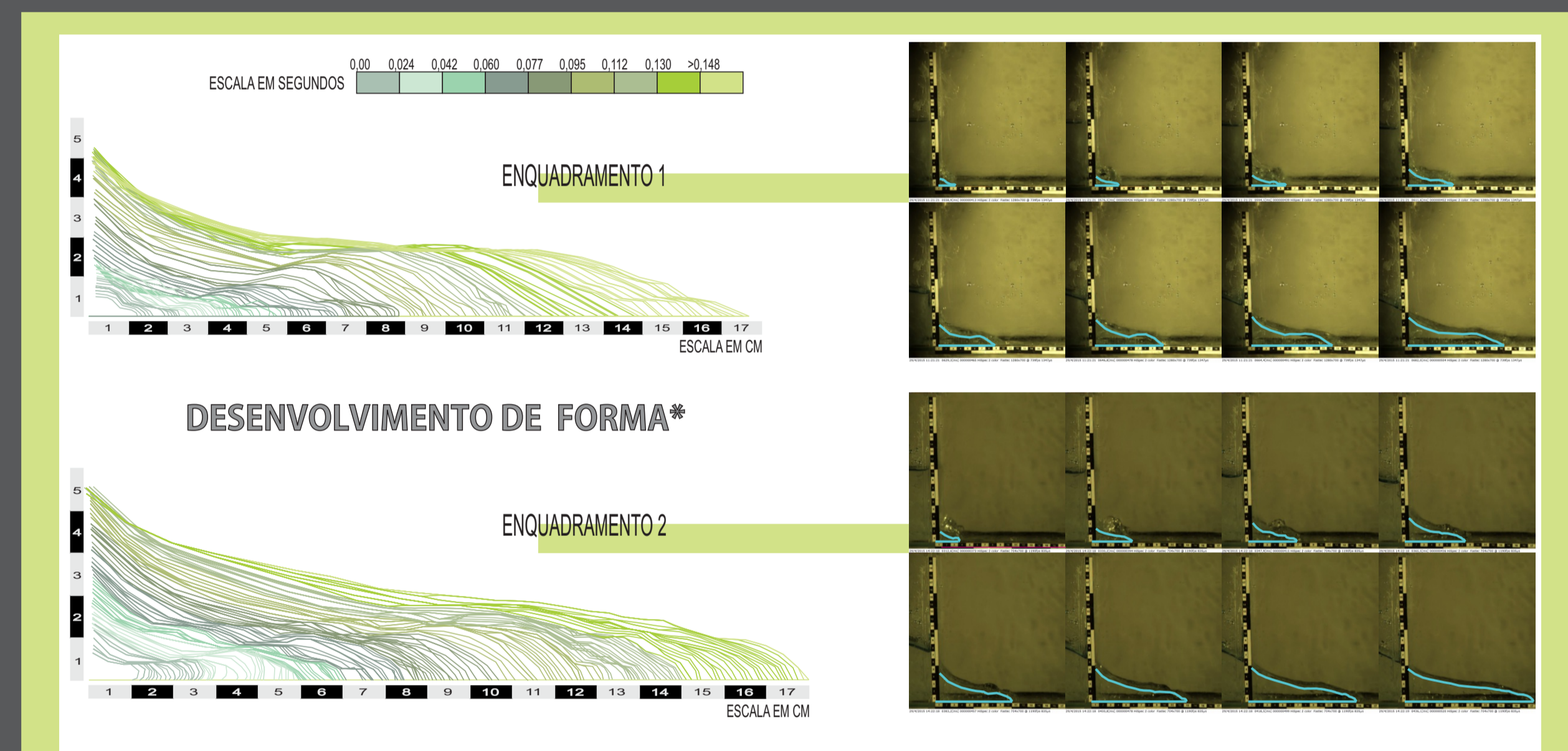
Na busca pela compreensão e entendimento de uma infinidade de fenômenos físicos, não é raro que o primeiro enfoque se dê através da simples observação deste fenômeno. Devido a fatores como o fenômeno ser rápido, busca-se uma forma de registrar as informações obtidas através dessa observação. A visualização de escoamentos é uma técnica utilizada desde os primórdios da Engenharia e com o passar dos anos, entram na pauta dos estudos técnicos fenômenos cada vez mais complexos, que exigem uma grande quantidade de dados para permitir estudos conclusivos. Neste viés, o presente trabalho se propõe a avaliar a eficiência e eficácia da câmera de alta velocidade como ferramenta de análise do fenômeno hidráulico que ocorre instantaneamente após a ruptura de uma barragem.

Esta abordagem se dá através de dois tipos de filmagens, sendo a primeira realizada com uma câmera de alta velocidade, captando em torno 1200 quadros por segundo e a segunda com uma câmera comum, que capta 24 quadros por segundo. Através das imagens geradas é possível definir parâmetros geométricos e cinemáticos da onda de ruptura. Esses parâmetros são comparados entre si.

A ruptura da barragem é feita em um modelo em escala reduzida de uma barragem hipotética. Em um canal com 4,0 x 0,12 x 0,40 metros e inclinação de 1,2°, foi instalada uma placa de acrílico, a uma distância de 2,46 metros do início do canal. Essa placa replica o barramento de um curso de água e quando retirada abruptamente simula o rompimento instantâneo de uma barragem. Ao todo foram registrados experimentos com 6 diferentes configurações, onde houve uma variação do nível de água a montante e a jusante, gerando 21 cenários de simulação. Os vídeos foram registrados em formato digital e tratados com aplicativos de computador.

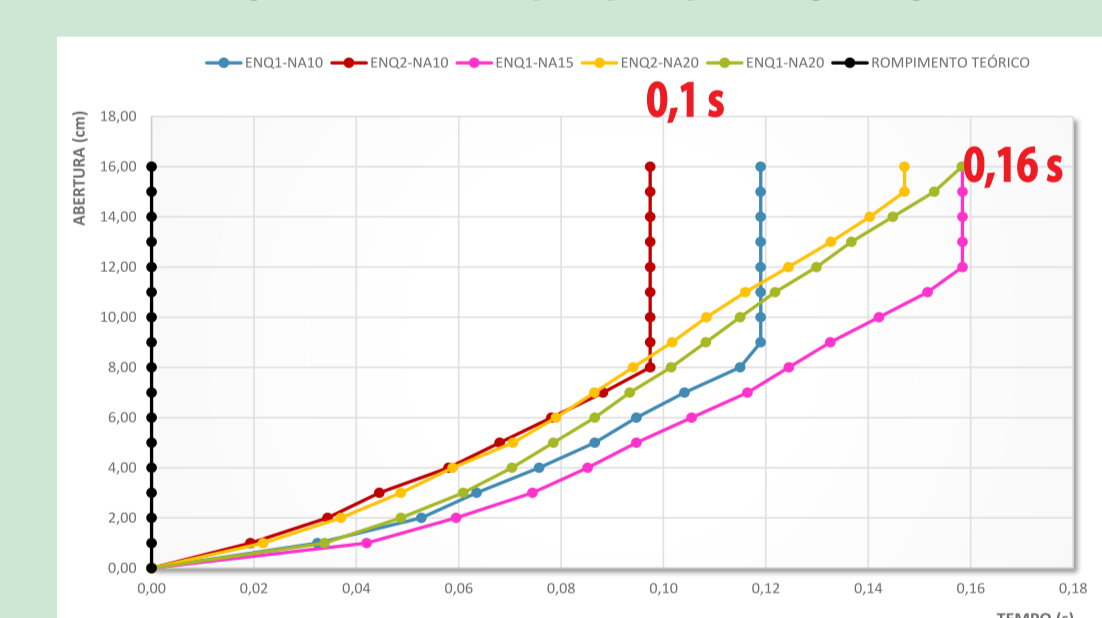
Os resultados apresentaram que em menos de dois décimos de segundo é formada uma onda em formato de cunha que avança com velocidade que varia de acordo com a altura do nível da água no barramento, foram detectados valores da ordem de 1 metro por segundo.

As imagens providas da câmera de alta velocidade permitiram a avaliação do tempo despendido na retirada da placa, identificação do ponto de estabilização da onda, avaliação da velocidade instantânea de propagação. Por fim, é possível concluir que este evento é muito veloz para ser compreendido pela visão humana, sem auxílio de tecnologia, e nesse ponto é onde se destaca a utilização câmera de alta velocidade.



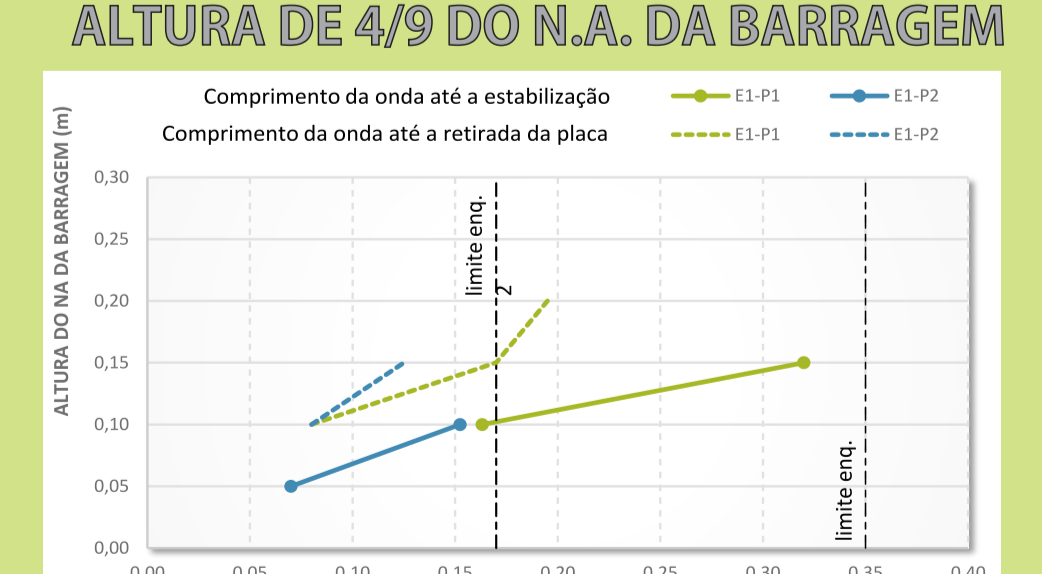
Ao analisar todos os quadros da filmagem da câmera de alta velocidade, é possível identificar que a partir do rompimento a onda surge como se estivesse inflando, expandindo rapidamente para frente e para cima, depois de atingir uma determinada altura o formato de onda observado é de uma cunha que ainda tende a aumentar de espessura, porém com uma taxa de aumento que tende a diminuir. Nota-se que devido à resistência do fundo, inicialmente se forma uma cabeça na frente da onda, com uma espessura maior. Essa cabeça tende a diminuir ao longo do movimento. Quanto maior a altura da barragem, mais alongada e menos espessa é a cabeça da onda.

### INSTANTANEIDADE DA RUPTURA



A placa vertical no modelo não é aberta instantaneamente. Entretanto, através do detalhamento fornecido pela câmera rápida é possível avaliar o tempo que levou este rompimento da barragem. Considera-se que a barragem rompe por completo quando a massa de água não está em contato com nenhuma área da placa, este gráfico fornece uma análise do tempo despendido para diversos eventos do rompimento da barragem.

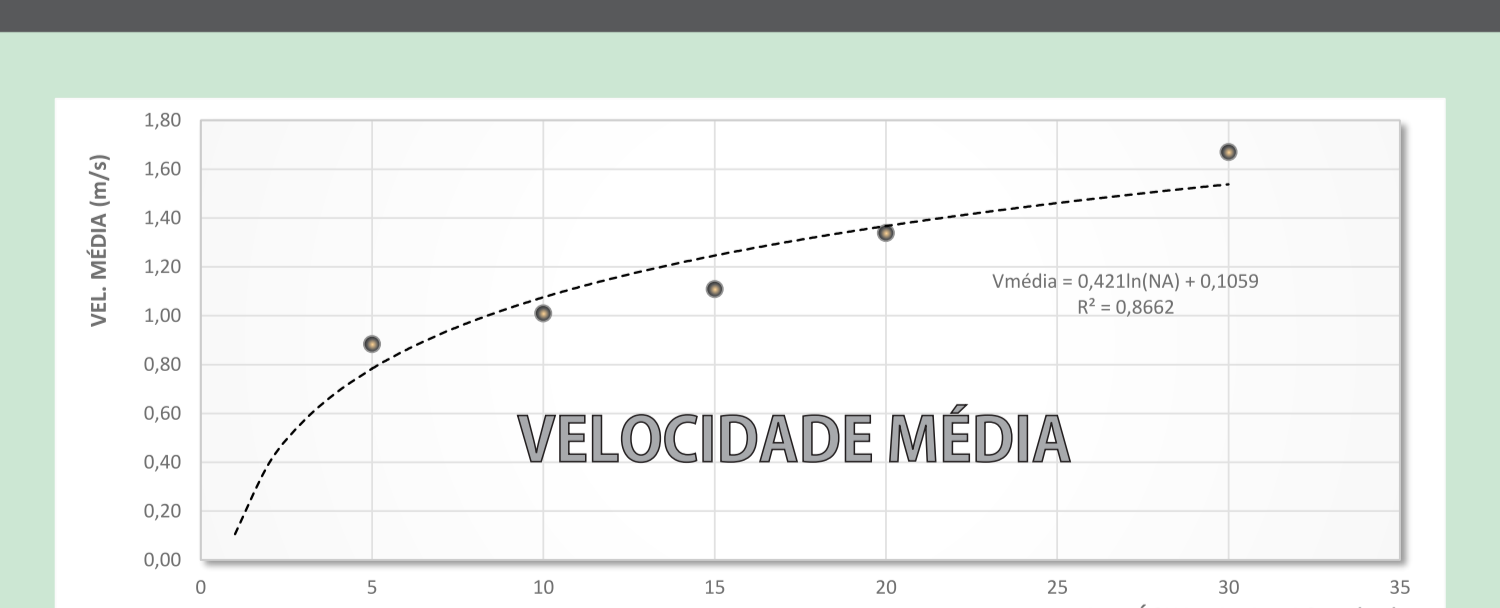
### COMPRIMENTO DE ONDA AO Atingir ALTURA DE 4/9 DO N.A. DA BARRAGEM



Análise da distância percorrida pela onda até a retirada completa da placa e até a estabilização da altura da onda em 4/9 da altura do barramento. Após analisar essas informações, entende-se que enquanto a placa está sendo retirada, ela influencia no formato da onda e que essa influência acaba quando a onda consegue chegar na condição que a sua espessura no ponto de ruptura não decresce mais.



O detalhamento fornecido pela câmera rápida permite observar que a velocidade instantânea se desenvolve entre picos altos e baixos, dentro de uma tendência de aumento.



É plotado a velocidade média quando a onda atinge 17 cm de comprimento em função do nível de água no barramento. Analisando esse gráfico, infere-se que existe uma relação próxima à logarítmica, entre a velocidade média da propagação da onda e a altura de barramento. Considerando que quando o NA da barragem é zero, a velocidade também é zero, nota-se que com o aumento do NA a velocidade também aumenta, mas a uma taxa maior no início e com uma tendência de estabilização ao longo do tempo.