



12º Seminário Internacional de Transporte e Desenvolvimento Hidroviário Interior

Virtual, 19 a 21 de Outubro de 2021

Automação de Draft Survey através de Fotogrametria em Terminais Portuários e Hidroviários

Ernani Rego Muraro - USP/Escola Politécnica/PEA, São Paulo/Brasil, ernani@ben.eng.br

Giovani Pissinati Menoci - Cargill, Uberlândia/MG, giovani_menoci@cargill.com

Raul Alves Pacheco - Cargill, Uberlândia/MG, raul_pacheco@cargill.com

Me. Allan Chiang - TCP, Paranaguá/PR, allan.chiang@tcp.com.br

Dr. Eduardo Mario Dias - USP/Escola Politécnica/PEA, emdias@pea.usp.br

Palavras-chave: *draft survey*, *draught survey*, automação, arqueação, visão computacional, *deep learning*

Resumo

O processo de arqueação (medição da quantidade de carga em um navio), apesar de consolidado em diversos portos em todo mundo, ocorre de maneira manual e visual, com pouco uso de ferramental tecnológico. A explosão de novas tecnologias, equipamentos e algoritmos, permite melhorias nesse processo, desde sua aceleração, até preservação da segurança da vida humana. Esse artigo tem por objetivo realizar, através de uma revisão bibliográfica narrativa, uma análise de metodologias, alternativas e tecnologias existentes para a automação do processo de arqueação (draft survey), avaliando-se a utilização em terminais portuários (marítimos) e hidroviários (fluviais). Para as características físicas de navios de graneis sólidos e líquidos (tabelas hidrostáticas, que correlacionam valores de calado e deslocamento), avaliou-se a automação desses dados e, em caso de indisponibilidade deles, o que ocorre para embarcações mais antigas, sua definição através da construção de sistemas de equações. Assim, a literatura levantada indicou soluções factíveis para automação dessa atividade, proporcionando celeridade, precisão, acurácia e profusão de dados, além de redução de vulnerabilidades quanto à subjetividade na coleta e interpretação deles. Conclui-se pela efetividade do uso de tais soluções, cabendo a avaliação, caso-a-caso, daquelas com melhores condições de implantação e de equilíbrio técnico e econômico.

1. Introdução

Cerca de 95% do comércio exterior brasileiro passam pelos nossos portos públicos e privados, sejam marítimos ou hidroviários. Através dessas estruturas portuárias, embarcações de variadas tipologias de carga e dimensões acessam os portos para realizar viagens de cabotagem ou longo curso, nos sentidos de importação ou de exportação.

A medição de variáveis geométricas de cada embarcação - incluindo outras variáveis, como água de consumo, água de lastro, combustível ou peso

leve do navio-, são determinantes para a definição e registro da carga movimentada em cada navio. As principais variáveis são trabalhadas através de perícias aduaneiras, a fim de caracterizar o deslocamento dos navios, através de auditorias visuais e cálculos hidrostáticos que determinam quantidade de carga embarcada ou desembarcada de um navio.

Essas medições dos navios são de extrema importância aos portos marítimos e hidroviários, pois é dali que se faz a cobrança de tarifas relativas ao acesso aos canais e berços de atracação.

Atualmente, tais medições envolvem o embarque e trânsito em água de profissional para retirar os dados de calado da embarcação (dentre outras informações) que, através de procedimento conhecido como Draft Survey, encontra a carga embarcada ou desembarcada da embarcação. Além disso, esse processo alimenta o Bill of Lading, que é o documento indicador da quantidade de carga carregada pelo armador.

Trata-se de atividades com pouco uso de tecnologia.

O uso massivo e integração de sistemas e de novas tecnologias servirão para automatizar a leitura com dados complementares e definir características momentâneas do navio de forma célere e precisa.

Essa agilidade e precisão na medição e cálculo, a partir do uso de novas tecnologias de reconhecimento por imagem e algoritmos específicos, levantam a atenção para processos que envolvam *machine* e *deep learning*, que, por evitar a necessidade de um ser-humano entrar na água, também produz maior segurança pessoal e operacional, acurácia e celeridade do processo.

Diante da explosão tecnológica dos últimos anos, o artigo tem como objetivo, através de uma revisão bibliográfica narrativa, avaliar os principais artigos científicos e tecnologias existentes, ou em desenvolvimento, a respeito de processos automatizados, que envolvam a aquisição fotogramétrica de dados e integração aos sistemas de monitoramento de carga.

Também, agrega valor ao artigo a experiência dos autores na área portuária e hidroviária.

Ficou demonstrado que a agilidade e precisão da leitura a partir de soluções e dispositivos tecnológicos, além da utilização e integração com outras tecnologias e sistemas, servem para automatizar o processo de Draft Survey.

2. O procedimento de Draft Survey (DS, Arqueação)

Antes da geração do *Bill of Lading*, B/L (registro de carga, conhecimento de embarque ou manifesto de carga), documento que permite a embarcação zarpar e navegar para seu destino), é necessário realizar perícia de arqueação (conhecido como *draft survey*, DS), que confirma a carga embarcada.

O passo-a-passo resumido do DS realizado de forma convencional pode ser observado no capítulo 3.

As principais variáveis do sistema são levantadas através levantamentos de dados e de cálculos hidrostáticos, conforme as Figuras 1, 2 e 3 ilustram.

A medição de variáveis geométricas de cada embarcação - incluindo outras variáveis, como água de consumo, água de lastro, combustível ou peso leve do navio-, são determinantes para a definição e registro da carga movimentada, entrando ou saindo do porto, em cada navio. A aferição da carga é feita de duas maneiras. Na primeira, por diferença de deslocamento se chega à quantidade de carga movimentada, sendo este o método utilizado para aferição de granéis sólidos. Nos navios de granéis líquidos, a aferição é feita mediante a sondagem e medição da temperatura do material contido em cada tanque.

Muraro et al. (2020) descreve a atividade de Draft Survey (DS) e a resume como (i) uma metodologia consolidada de conferência de carga embarcada ou desembarcada; (ii) extremamente dependente de levantamentos visuais e de ferramental manual; e (iii) expõe o perito a condicionantes de risco à segurança do trabalho. Também indica a explosão tecnológica, convencionada com o termo Indústria 4.0, como gênese de soluções que podem automatizar essa metodologia, gerando segurança profissional, operacional e agilidade na liberação do B/L, o que diminui custos com navios parados ou berços de atracação ocupados.

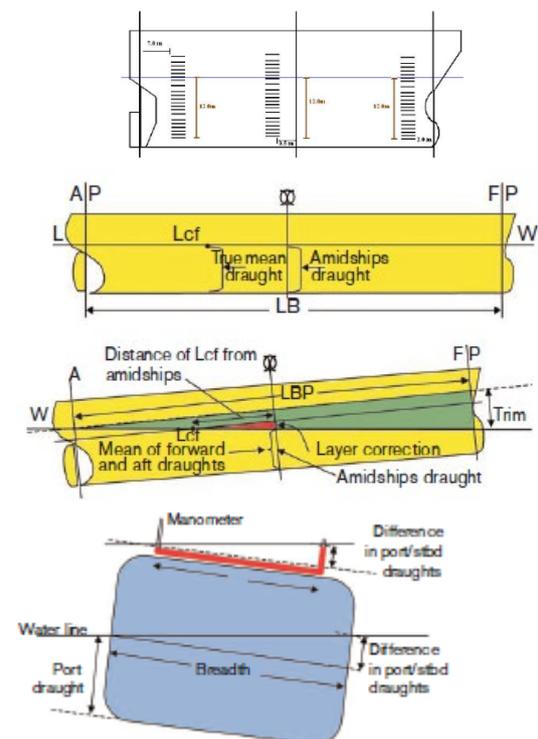


Figura 1 – Marcações de calado e movimentos das embarcações. Fonte: Miller (2021), LIU (2014) e Muraro et al. (2020)

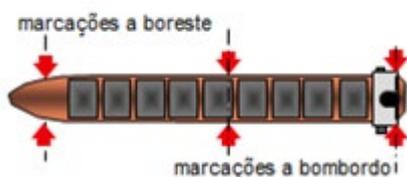


Figura 2 – Procedimento Operacional. Fonte: LLX (2013) e Muraro et al. (2020)

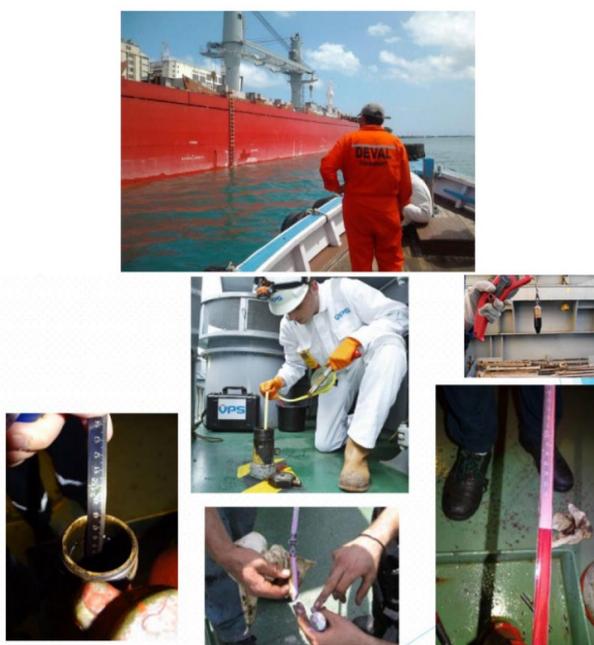


Figura 3 – Demonstração de procedimentos de medição das variáveis de um navio. Fonte: fotos de domínio público e Muraro et al. (2020)

3. Problemas rotineiros da arqueação

NATAL (2017) aponta que o processo de arqueação ou “draft survey” é um método indireto para se obter o peso das mercadorias a bordo, onde: (i) determina-se o calado correspondente, (ii) o deslocamento corrigido para (iii) a densidade da água em que o navio flutua, (iv) os pesos dos objetos, materiais, pessoas a bordo e (v) o peso do navio leve. O embarcador, o recebedor, o afretador, o dono da carga ou outra pessoa nela interessada, pode indicar um técnico para efetuar a arqueação da carga. A essa pessoa chamaremos de “perito”, “inspetor” ou “arqueador”, “draft surveyor”, em inglês, ou simplesmente “surveyor”.

Portanto, consiste no levantamento de diversas informações do navio para, através de cálculos

específicos, utilizando as tabelas hidrostáticas e de sondagem de dados da embarcação, determina-se a quantidade de carga disponível a bordo. Essas informações são colhidas e calculadas pelos profissionais especializados já indicados.

Inicialmente, o procedimento realiza a leitura de calado em seis diferentes pontos ao longo do casco, sendo popa, meia nau e proa tanto a bombordo quanto a boreste, conforme indicado nas Figuras 1 e 2.

Retornando ao navio é feita checagem para aferir a densidade da água local, os tanques de lastro da embarcação são sondados visando considerar eventuais volumes disponíveis e a densidade da água também é verificada, bem como é realizada a sondagem no tanque de água potável da embarcação Miller (2021).

Com todos os dados coletados inicia-se o processo de correção e cálculos para definir o volume de carga disponível a bordo. O processo completo pode ser visualizado na Figura 4 a seguir.

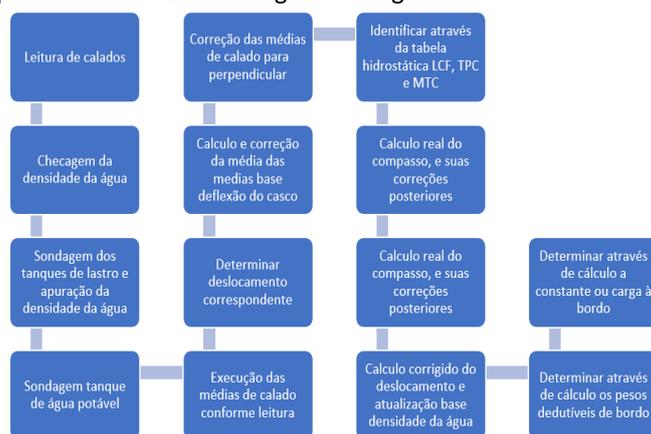


Figura 4 – Procedimento de Arqueação, elaboração Autores a partir de Miller (2021)

Geralmente a arqueação é realizada em conjunto pelos peritos apontados (pelo interessado) e tripulação, porém como o processo é realizado por pessoas diferentes e totalmente dependente da avaliação e estimativa por elas executadas, discrepâncias no processo acabam ocorrendo frente a diferentes percepções na coleta de dados. A intervenção e interpretação humana dos dados coletados acabam gerando fragilidade no processo. Impasses entre os peritos são comuns na hora de determinar as leituras dos calados da embarcação CANIMOĞLU (2021), tais como: (i) a densidade da água, (ii) sondagem dos tanques de lastro, (iii) interpretação da tabela hidrostática, (iv) determinação da constante do navio etc.

Problemas de digitação errada de dados costumam ocorrer, impactando o tempo do processo, devido à

necessidade de investigação desse tipo de falha humana.

3.1. Tempo e logística

Por experiência adquirida na operação portuária e hidroviária dos autores, cálculos de arqueação juntamente com o processo de leitura de calado e sondagem dos tanques de lastro e água potável acabam levando aproximadamente duas horas para ser realizado. Considerando a arqueação inicial e final para cada embarcação, são necessárias quatro horas de paralisação das operações afim de realizar o processo. Sujeito ainda à disponibilidade de embarcações para realização da leitura de calado e impacto quanto às condições climáticas e ondas que podem afetar e atrasar ainda mais o processo.

Com o levantamento e inserção dos dados no sistema de maneira automática consegue-se pelo menos reduzir o tempo necessário para a realização do processo de arqueação em aproximadamente duas horas, salvando tempo e recursos financeiros a todos os envolvidos na operação.

Muraro et al (2020) aponta que, considerando-se os valores de mercado atuais para navios tipo Panamax temos uma taxa de *demurrage* (sobre-estadia do navio) em torno de USD 30.000 por dia (USD 1.250 por hora), atualizado a condições atuais de mercado. Para um navio, uma economia de 2 horas significa o equivalente a um “saving” de USD 2.500, obtida através da automação da arqueação. Como o *dispatch* (operações de carga e descarga concluídas antes do prazo acordado) costuma ser metade do *demurrage* poderíamos também garantir USD 1.250 caso o navio ainda esteja dentro do prazo firmado para carregamento conforme contrato.

Termos citados podem ser melhor entendidos em Shipping (2014). *Demurrage* se aplica quando o período estipulado para o carregamento do navio não é cumprido e acaba gerando atrasos pela espera da embarcação para atracação e devida operação, no caso do *dispatch* seria o prêmio pelo adiantamento do período estipulado em contrato para a operação, este prêmio costumeiramente representa metade do valor referencial da *demurrage*.

3.2. Precisão e confiabilidade dos dados

Portanto, a arqueação das embarcações é uma atividade de extrema importância pois determina o volume total de mercadoria embarcada ou

desembarcada em determinado porto. Em muitos locais é considerado como número oficial pelas autoridades pertinentes a fim de concluir processo de exportação ou nacionalização de produtos.

No Brasil, dependendo dos contratos e terminais portuários, o peso oficial da mercadoria embarcada é determinado através de balanças de fluxo para cargas à granel, ainda assim, os navios estão sujeitos à arqueação.

Procedimentos operacionais da área portuária, para granéis sólidos no Brasil costumam definir que, em caso de discrepância superior a 1% (acima ou abaixo) entre a arqueação e os valores mensurados pela balança de fluxo, considera-se a arqueação como valor oficial. Para o granel líquido o percentual é de 0.5%.

Importante ressaltar que a acurácia do processo de arqueação está diretamente relacionada não só aos cálculos realizados, mas também às condições da água onde o navio está imerso. Como a leitura de calado é realizada em seis diferentes posições externas da embarcação, dependendo do deslocamento da água no momento da checagem do calado, os peritos estão sujeitos a erros com base na análise visual realizada (Figura 5). Esta fragilidade no processo pode se agravar dependo das condições climáticas, ondas, obstruções, acesso e qualidade das marcações de calado.

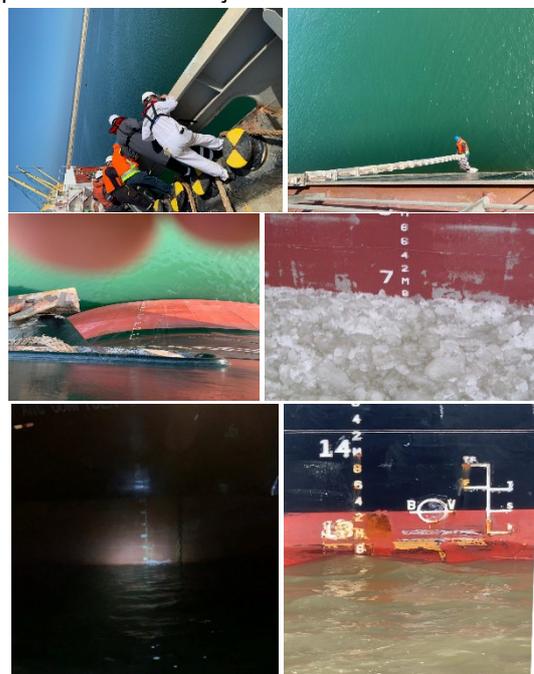


Figura 5 – Desafios da leitura de calado. Fonte: Zeringue (2021)

Considerando navios tipo Handymax (50.000 toneladas) e Panamax (75.000 toneladas) onde temos um TPC (toneladas por centímetro de calado) aproximado entre 50 e 65 toneladas/cm, qualquer

discrepância na leitura representa impacto significativo nos volumes disponíveis a bordo. Por exemplo, para cada leitura errônea em 1 cm teremos 65 toneladas de diferença. Portos onde as condições climáticas são desfavoráveis e com muita incidência de onda estão sujeitas a variações muito mais agressivas, podendo representar em alguns casos, por exemplo, 10cm de discrepância representando assim aproximadamente 650 toneladas de diferença.

3.3. Variáveis principais de ataque

Com base na importância da acurácia no processo de arqueação, faz-se necessário implementar alternativas para digitalizar a leitura de calado, coletar os dados pertinentes e realizar os cálculos de forma automática mitigando a exposição em relação a discrepâncias.

Considerando a execução da atividade e intervenção humana no processo, acabamos sujeitos a análises subjetivas no levantamento de informações, interpretação dos dados, análise das tabelas hidrodinâmica e sondagem da embarcação, causando interferência no resultado final disponível a bordo.

Digitalizar e automatizar o processo de arqueação faz-se necessário, como forma de reduzir vulnerabilidade quanto a interpretação dos dados, ganhando maior assertividade no processo e garantindo assim a acurácia nos números determinados. A visão computacional empregada na leitura dos calados da embarcação resulta em avanço considerável pois elimina a subjetividade na coleta das informações além de manter registro do procedimento realizado, alimentado automaticamente software com os dados registrados iniciando o processo de arqueação.

A automação da leitura das tabelas de sondagem e hidrostática também é um avanço considerável pois através de inteligência artificial consegue-se extrair os dados e alimentar automaticamente o software, que estará realizando todos os cálculos pertinentes para concretização da arqueação.

Quanto aos cálculos e equações pertinentes ao procedimento também seguem automatizados através de software específico, todas as informações são recebidas, tratadas e arquivadas, sendo inseridos ainda dados pertinentes à sondagem dos tanques e consumíveis pela tripulação.

Dessa forma, a Figura 6 indica organização de itens do procedimento de DS e o capítulo 4 indicará

potenciais soluções para o processo de automatizar o DS.

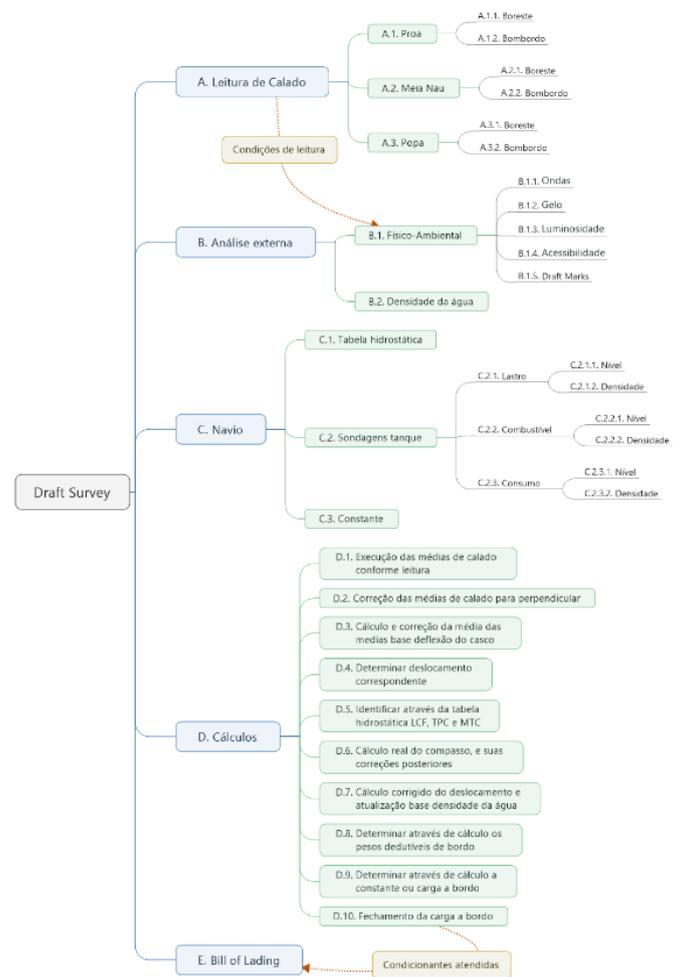


Figura 6 – Procedimento de Draft Survey (elaboração autores)

Na prática, a Figura 6 demonstra que esse fluxo de informações e cálculos tem como objetivo integrar o item D.10 ao item E.

4. Automatização do Draft Survey

4.1. Proposição de sistema automatizado do processo

Objetivamente, a automação do processo de DS procura trazer salvaguarda à vida humana (minimizar o grau de exposição a situações de perigo) e celeridade, dado os custos envolvidos com navio carregado e aguardando sua liberação.

De forma geral, temas como Meta Data, Big Data, armazenamento em nuvem, cobertura de rede (5G, wireless, bluetooth entre outros), telemetria, automação, deep learning, machine learning, inteligência artificial e IoT são aplicáveis à automatização de um processo de DS.

Caberia definir caso-a-caso, soluções com melhor equilíbrio técnico e econômico, além da disponibilidade de tecnologias, para seu desenvolvimento e aplicação.

Nesse sentido, buscando aprimorar a discussão, a partir da Figura 6 e capítulo 3, podemos identificar proposições de automação de processos com vistas à celeridade do procedimento de draft survey:

- i. Item A: a atividade de leitura de calados pode ser realizada com procedimentos de fotogrametria, descritas no capítulo 4.2.
- ii. Item B.2: densidade da água pode ser realizada por meio de sensores (por exemplo em uma estação, ou bóia, meteoceanográfica) telemetrizada, similar a soluções de telemetria em corpos d'água, como apresentado em Azevedo (2018) e Gil (2019). Requisitos de IoT (Internet of Things) são importantes.
- iii. Item C.1: conforme descrito no capítulo 4.3.
- iv. Itens D.1 a D.3: conforme descrito no capítulo 4.3. Arqueadores utilizam normalmente planilhas em Excel, mas UN/ECE (1992), por exemplo, no seu "Anexo A" já apresentava solução de programação (em DOS) para o DS.
- v. Itens D.4 a D.9: conforme descrito no capítulo 4.3.

4.2. Fotogrametria

Para uma das primeiras atividades (leitura dos calados), Muraro et al. (2020) apresenta diversas soluções, envolvendo fotogrametria, que foram estudadas e aplicadas em campo, com sucesso na aquisição dos dados. A Figura 7 demonstra algumas opções de levantamento: local fixo de instalação LIU (2019) (patente em Epskamp, 2020), robô autotrepante Zhang (2019), Kit de aquisição de imagem SHA (2019a) e levantamento com drone SHA (2019b).

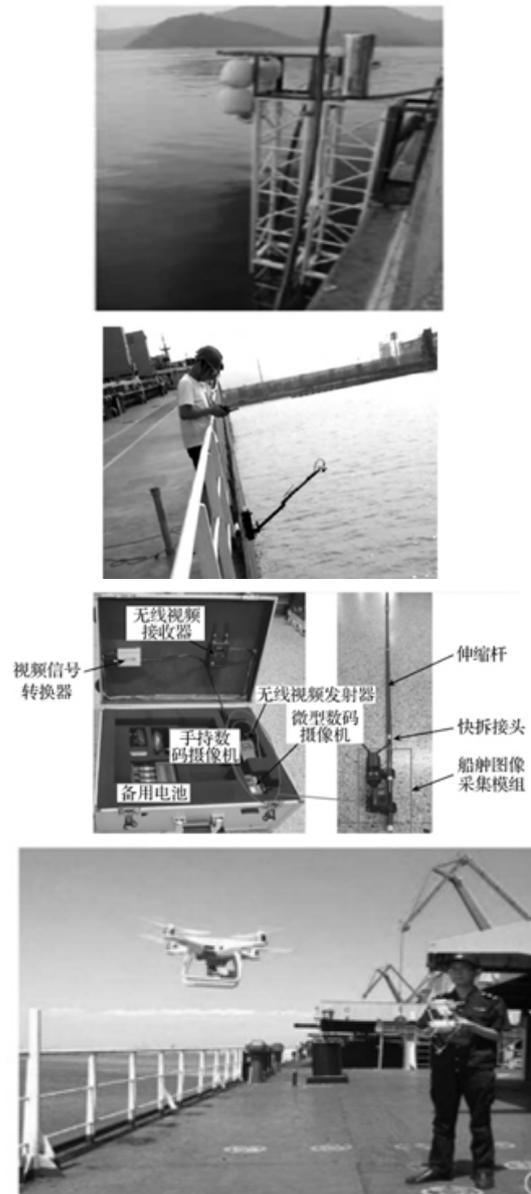


Figura 7 – Demonstração de procedimentos remotos e autônomos de medição dos calados de um navio. Fonte Muraro et al. (2020)

Apenas uma atividade como essa (fotografia em formato remoto) já geraria informação com menos riscos de exposição da vida humana, com maior precisão e registro documental de informação (no caso de variadas fotos), diminuição de erros na leitura do calado e possibilidade de registro imediato (por exemplo, com equipamento ligado a uma rede de internet ou intranet). Mesmo com atividades visuais e com ferramental manual de precisão, como dispositivo para medir diferenças de calados entre dos lados de um navio MITSURU (2019), erros de fator humano costumam estar presentes em problemas de medição CANIMOĞLU (2021).

De fato, Muraro et al. (2020) demonstra que serviços manuais e visuais realizados por pessoas

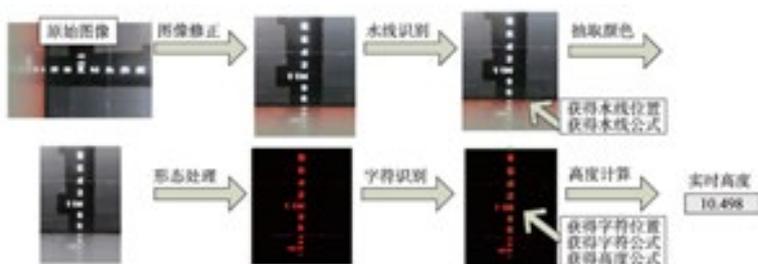
possuem riscos no processo de medição de arqueação e Xu (2018) encontrou o fator humano com peso de 54,3% na hierarquia do processo. Por exemplo, no item leitura do calado (47,1% do processo inteiro), conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Ponderação de fatores hierárquicos no Draft Survey, adaptado pelos autores, Fonte Xu (2018)

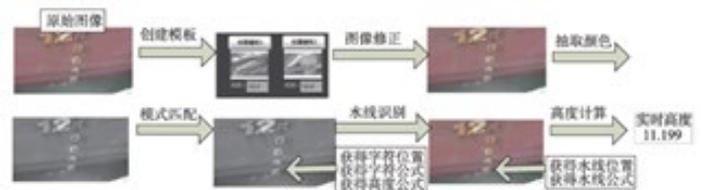
Leitura do calado 0.471	<ul style="list-style-type: none"> Fatores de pessoal (experiência, consciência) 0.543 Ambiente natural, condições do mar (tempo de gelo, neve de chuva, ondas) 0.140 Ferramentas para leitura do calado (barco de apoio/acesso escada piloto /UAV) 0.234 Condição própria dos navios (deformação, clareza do Draft Mark) 0.085
Medição tanques de água de consumo e de lastro 0.284	<ul style="list-style-type: none"> Fatores de pessoal (experiência, consciência) 0.194 Instrumentos de medição 0.079 Fatores de navios (deformação do casco, correção do trim) 0.727
Medição da densidade da água do mar/rio 0.172	<ul style="list-style-type: none"> Instrumentos de medição (amostrador, densímetro) 0.586 Local de amostragem 0.218 Tempo de amostragem 0.124 Local de leitura da data, leitura da data padrão 0.073
Processo de cálculo 0.074	<ul style="list-style-type: none"> Fatores de pessoal 0.106 Tabelas de navio grau padrão 0.633 Calculadora, grau de automação de computação 0.260

Dessas opções, a visão computacional surge como uma boa aplicação para leitura de calados (Figura 6, item “A”). Muraro et al. (2020) aponta que uso da câmera e algoritmo computacional é capaz de fornecer leitura de linha d’água de modo rápido e eficiente, como mostrado na Figura 8. Dirimir a influência de erros nas leituras do calado pode ser significativo, sendo necessário minimizar esse erro, o que se pretende com o uso massivo de tecnologia focada na solução de problema, como aqueles apontados na (Figura 6, item “B.1 Físico-Ambiental”) e Figura 8 a seguir.

1)



2)



3)



4)

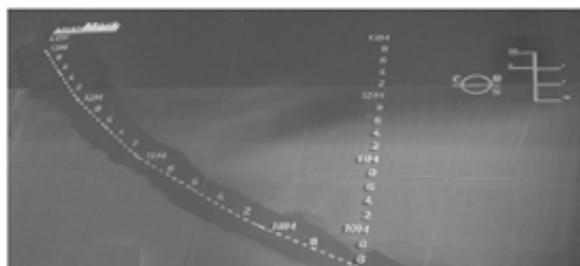


Figura 8 – Aquisição de dados. Fonte Muraro et al. (2020).

Legenda: 1) OCR – Processo de reconhecimento de calado Teng (2019), 2) Processo de reconhecimento de calado com base na correspondência de padrões Teng (2019), 3) Exemplo de problema para leitura do calado FERREIRA et al. (2018) e resposta do algoritmo de leitura Tsujii (2016), 4) Aplicação CroMark® para correção de paralaxe Maksimovis (2006)

Portanto, a fotogrametria é o primeiro passo do conceito de automação do DS, iniciando com o processo de aquisição de dados de calado com a possibilidade de uso de tecnologias como (i) laser, (ii) sensores inteligentes permanentes embarcados, (iii) sonar e (iv) visão computacional. Mas é apenas um passo importante de diversos outros, conforme mostrado na Figura 9.

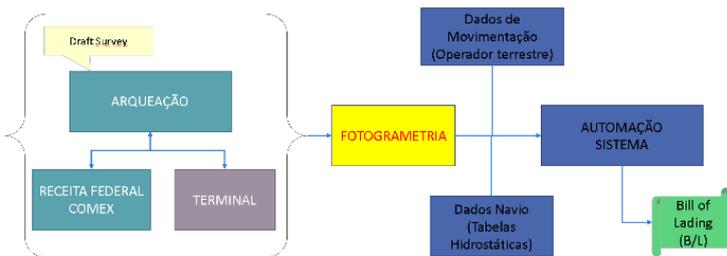


Figura 9 – Fluxograma de Ações (elaboração autores).
Adaptado de Muraro et al. (2020)

Enfim, Muraro et al. (2020) demonstra as vantagens do uso e automação da fotogrametria, assim como a automação das demais atividades do processo de arqueação, e a correlação de economia financeira à celeridade do processo, sem perda de qualidade. Por exemplo, ZHANG (2020), SHA (2019b) e ZHU (2020) apresentam resultados, de levantamento fotogramétrico e cálculo das dimensões dos navios com métodos *Deep Learning*, com taxas de desvio menores de 0,15% para cálculo do deslocamento e de aproximadamente 0,05% para a leitura do calado.

4.3. Dados do navio

Os dados do navio são representados por tabelas nomeadas de diversas maneiras (tabelas hidrostáticas ou de arqueação ou de deslocamento), como apresentado na Tabela 2. Demonstrada a importância dessas tabelas para o processo de DS, faz-se necessário que, principalmente para navios mais antigos, em que tais documentos são impressos e acessíveis pela tripulação, elas estejam digitalizadas de forma que fiquem utilizáveis ao processo automatizado. Segue abaixo modelo de tabela hidrostática a ser interpretada através de visão computacional fornecendo dados pertinentes ao cálculo de arqueação.

Tabela 2 – Modelo de Tabela Hidrostática OLIVEIRA (2016)

N/M ANGRA DOS REIS						
H (m)	Δ (t)	TCI (t/cm)	MCC (t.m/cm)	JO(B) (m)	JO(F) (m)	KMT (m)
6,50	59.842	97,0	1498,5	-12,26	-10,83	26,68
6,60	60.452	97,0	1501,2	-12,24	-10,78	16,38
6,70	61.423	97,2	1502,9	-12,21	-10,72	26,20
6,80	62.395	97,2	1506,6	-12,19	-10,66	25,83
6,90	63.367	97,2	1509,3	-12,16	-10,61	25,57
7,00	64.340	97,4	1511,9	-12,13	-10,55	25,31
7,10	65.314	97,4	1514,5	-12,13	-10,43	25,06
7,20	66.288	97,5	1517,0	-12,08	-10,40	24,83
7,30	67.263	97,5	1519,6	-12,06	-10,37	24,59
7,40	68.239	97,5	1522,1	-12,02	-10,31	24,37
7,50	69.216	97,6	1524,6	-12,01	-10,25	24,15
7,60	70.193	97,8	1527,0	-11,98	-10,18	23,94
7,70	71.171	97,8	1529,5	-11,95	-10,12	23,74
7,80	72.149	97,9	1531,9	-11,93	-10,05	23,55
7,90	73.128	98,0	1534,4	-11,90	-9,99	23,36
8,00	74.108	98,0	1636,7	-11,87	-9,92	23,18
8,10	75.088	98,1	1539,1	-11,85	-9,85	23,00
8,20	76.069	98,1	1541,4	-11,82	-9,78	22,83
8,30	76.069	98,2	1543,7	-11,79	-9,71	22,66
8,40	78.033	98,3	1546,0	-11,76	-9,64	22,50

Com todos os dados disponíveis, equações atualizadas e cálculo realizado, teremos o resultado final da arqueação, mostrando todas as informações pertinentes ao processo e aferindo a quantidade de carga disponível a bordo conforme exemplo de relatório na Tabela 3.

Tabela 3 – Relatório de Arqueação (exemplo)

DRAFT SURVEY		INITIAL	FINAL
CERTIFICATE		21/08/21	23/08/21
VESSEL'S AND CARGO DATA		5,0200	11,7500
Forward Portside		5,1800	11,7500
Forward Starboardside		-0,0679	-0,0180
Correction for Perpendicular		5,0321	11,7320
CORRECTION TO PERP. m			
PERP.	Keel		
AFT	1,800	0,009579	-0,0180
FWD	-4,780	-0,025438	-0,0180
MID	-0,880	-0,004738	-0,0180
LBP	194,500	LBM:	187,920
Alt Portside		7,0600	11,7500
Alt Starboardside		0,0008	-0,0180
Correction for Perpendicular		7,0608	11,7320
Alt Mean Correct		6,0465	11,7320
Forward and All Mean		5,8000	11,7500
Midship Portside		6,0600	11,7500
Midship Starboardside		-0,0273	-0,0180
Correction for Perpendicular		5,9127	11,7320
Midship Mean Correct		5,9462	11,7320
Ballast Water		144,000	140,000
Fresh Water		0,000	0,000
WPC correction for deflexion		5,9462	11,7320
Means of Means		0,000	0,000
Anchor & shackles		0,000	0,000
Means of Means Corrected		0,000	4,000
Others (cargo)		17,355,055	1,054,521
Initial Displacement (mt)		31,107,573	55,444,636
SUM (mt)		55,992	61,900
TPC		-6,513	2,570
LCF		2,029	0,000
Berth/Anch: Berthed		0,200,10	0,050,05
TRIM CORRECT		25,369	14,608
Swell (m) PS:		19,00	5,00
1st Correction		-380,331	0,000
Current:		5,00	2,00
2nd Correction		37,418	0,000
Displacement Correct (mt)		30,764,956	55,444,636
Apparent Trim:		1,960	0,000
Observed Seawater Density		0,99700	0,99600
Deflexion:		-0,134	0,000
Correction for Density		-340,409	-1,851,604
Displacement Correct		29,924,557	63,593,032
CARGO STATISTICS (mt)			
Manifest:		50.047,260	17.355,055
Weight of Consumables		12.569,502	62.536,510
Draft Survey:		49.969,008	11.963,930
Displacement Correct		11.963,930	62.536,510
Light Ship		605,572	80.574,580
Difference: mt		-78,272	Final Displacement
Difference: %		-0,156%	12.569,502
Vessel Constant + Cargo		605,572	62.536,510
Port:			49.969,008
TOTAL OF CARGO (mt)			

4.4. Automação de dados dos navios

A tabela de deslocamento de um navio é a representação prática, impressa e específica da forma do casco daquela embarcação. Na maioria das vezes organizada de uma forma que facilite a conversão de calado e densidade da água onde este navio se encontra, em deslocamento bruto (toneladas). Geralmente, em subdivisões centimétricas de calado.

Na exploração de alternativas de tornar o processo de "draft survey" mais rápido, confiável e seguro, foram exploradas algumas alternativas quanto as tabelas de deslocamento dos navios:

- Utilização de informação digitalizadas disponíveis no navio (tabelas em formato de dados, xlm, sql, etc).
- Utilizar tabelas digitalizadas em formato de imagem (JPG, PDF, etc), através de um processo de digitalização automática desses dados, como por exemplo, OCR.
- ou, ainda embrionário, converter as tabelas dos navios em equações ou sistemas de equações que sejam um resultado direto das leituras de calado. Ou seja: Deslocamento = f(calado1, calado2, calado3, calado4, calado5, calado6)

- iv. finalmente, como uma solução de fácil implantação, porém, ainda exposta a falhas humanas, que a própria tripulação insira na plataforma/software, as informações da tabela de deslocamento, anexando foto das mesmas.

4.5. Equações ou sistemas de equações:

LABES (2015) comenta que, de uma certa forma, os desenhos das linhas do casco são uma arte, são criadas "livremente", a partir do zero ou elaboradas a partir de linhas de outras embarcações. Dado essa peculiaridade de forma de casco, como parte deste trabalho, foi realizada uma revisão bibliográfica de artigos onde se buscou, para diversos fins, equações afins de converter calado em deslocamento. Para fins de elucidação, segue exemplo de discretização de linha e seções de XUJIAN, 2013, nas Figuras 10 e 11.

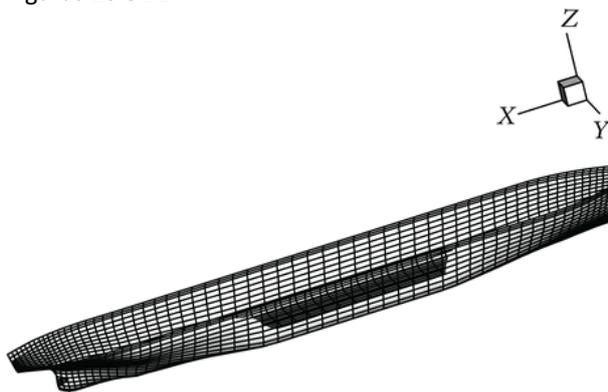


Figura 10: Typical panel arrangement for the hull XUJIAN (2013).

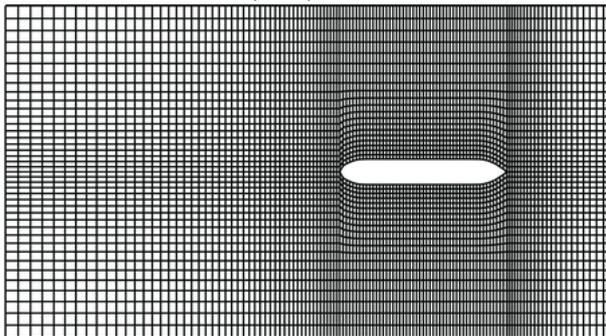


Figura 11: Typical panel arrangement for the free surface XUJIAN (2013).

No trabalho de LABES, 2015, é feita uma revisão de vários autores e suas abordagens relacionadas a determinação da forma do casco (ou carena) do navio. Este trabalho visa aplicação de coeficiente de forma no processo de desenvolvimento de projeto de navios mercantes. De toda sorte, o processo passa pela modelagem (ou estimativa) de deslocamento utilizando diversas equações (de

diversos outros autores) e poderia se encaixar no que busca esse trabalho quanto a draft survey. Exemplificando algumas das equações avaliadas por LABES (2015):

$$C_b = \frac{\nabla}{L_{wl} * B_{wl} * T * p}$$

(Equação 1: Coeficiente de bloco segundo DOKKUM, 2003)

$$C_M = \frac{A_M}{(B * T)}$$

(Equação 2: Coeficiente de seção a meia nau, Man Diesel and Turbo, 2011)

$$C_{wl} = \frac{A_w}{(B_{wl} * L_{wl})} \quad (5)$$

(Equação 3: Coeficiente da área de flutuação, Man Diesel and Turbo, 2011)

$$C_p = \frac{\nabla}{(A_M * L_{wl})}$$

(Equação 4: Coeficiente prismático (Cp): Dokkum, 2003)

$$C_b = 0,7 + 0,125 * tg^{-1}[25 * (0,23 - Fn)]$$

(Equação 5: Fórmula de Towsin, neste caso, tratando de fórmulas empíricas - TOWSIN, 1979, apud WATSON, 1998):

Dos exemplos acima, e outros que o estudo aborda, LABES (2015) conclui, após uma avaliação de menor erro comparado com casos práticos (navios reais), que, para navios graneleiros, a abordagem que traz menor erro é a de Towsin (1979), com erro na ordem de 3,3% entre as fórmulas e os dados reais do navio.

No artigo de ROCHA (2018), cujo objetivo se assemelha muito ao de LABES, 2015, pode-se encontrar mais resultados pertinentes. Principalmente para embarcações cujo número de Froude (fn) é baixo. Navios graneleiros têm número de Froude entre $0,14 < fn < 0,18$, na maioria das vezes, como visto em Kristensen, 2012.

“Número de Froude (Fn) – Número adimensional que relaciona a velocidade pelo comprimento do navio, podendo também ser descrito como relação da energia cinética com a energia potencial gravitacional (FONSECA, 2002).”

Como exemplo, podemos pegar os resultados de ROCHA 2018 para os navios “Frederick” e “Edwin”, onde, para a equação de Posdumine e Lackenby

(Rocha, 2018), encontram-se erros médios da ordem de 1%, ou ainda, para os mesmos navios, utilizando modelagens por Curva de Áreas Seccionais (SAC), segundo Schneekluth e Bertran (1998), pelo método de integração numérica, através das Fórmulas de Simpson (Rocha, 2018), obteve-se erros entre 0 e 1%.

Com base no levantamento bibliográfico (de 2015, até 2018), encontramos várias abordagens com foco em assertividade de projeto e construção de embarcações e concluímos que o caminho de utilizar modelagem matemática para o processo de “draft survey” é possível, sendo necessário o cruzamento de compatibilidade dos dados reais dos navios (tabelas de arqueação).

Caso essa compatibilidade não tenha convergência ao uso, seria necessário o desenvolvimento de modelos mais precisos.

5. Conclusão

A partir da literatura levantada, os autores concluem que existem as seguintes frentes principais para a automação da atividade de Draft Survey: (i) fotogrametria na leitura dos calados, (ii) tabela hidrostática dos navios em formato digital, (iii) software de integração dos dados e realização dos cálculos.

A celeridade, precisão e profusão dos dados na geração de informações (que servem como parâmetros de decisão e de registro da informação) do processo automatizado são evidências da necessidade de sua utilização.

De forma geral, temas como Meta Data, Big Data, armazenamento em nuvem, cobertura de rede (5G, wireless, bluetooth entre outros), telemetria, automação, deep learning, machine learning, inteligência artificial e IoT são aplicáveis à automatização de um processo de DS.

Digitalizar e automatizar o processo de arqueação faz-se necessário, como forma de reduzir vulnerabilidade quanto a interpretação dos dados, ganhando maior assertividade no processo e garantindo assim a acurácia nos números determinados. A visão computacional empregada na leitura dos calados da embarcação resulta em avanço considerável pois elimina a subjetividade na coleta das informações além de manter registro do procedimento realizado, alimentado automaticamente software com os dados registrados iniciando o processo de arqueação.

Caberia definir caso-a-caso, soluções com melhor equilíbrio técnico e econômico, além da

disponibilidade de tecnologias, para seu desenvolvimento e aplicação.

Esse artigo abordou principalmente casos e navios de granéis sólidos (minerais ou vegetais).

Importante destacar diferenças para navios de granéis líquidos (bulk liquid cargo), devido às características e estado físico do produto (líquido ou gasoso), tais como temperatura e pressão – alguns produtos não ficam armazenados em CNTP (Condições Normais de Temperatura e Pressão) API/EI Standard (2014).

Os autores, com vasta atuação e experiência nas áreas portuária e hidroviária, agradecem a CARGILL pela possibilidade de uso de informações, não comerciais, em prol do desenvolvimento acadêmico e tecnológico de pesquisa.

6. Referências Bibliográficas

API/EI Standard. Manual of Petroleum Measurement Standards. Chapter 17—Marine Measurement, Section 10—Measurement of Cargoes on Board Marine Gas Carriers. Part 2—Liquefied Petroleum and Chemical Gases. HM 55. 2014.

AZEVEDO, V. M. DE; MACIEL, A. M. A.; GAMA, K. S. DA. Solução IoT de Monitoramento de Poços para Gerenciamento de Recursos Hídricos. Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, v. 3, n. 3, 30 ago. 2018.

CANIMOĞLU, R.; YILDIRIM, U.; İNEGÖL, G. M. Analysis of Draught Survey Errors by Extended Fuzzy Analytic Hierarchy Process. Journal of ETA Maritime Science, v. 9, n. 1, p. 51–63, 31 mar. 2021.

DOKKUM, Van K. Ship knowledge – A modern encyclopedia. Published by: DOKMAR, P.O.Box 360, 1600 AJ Enkhuizen, ISBN: 90-806330-2-X, Copyright 2003, DOKMAR, 2003.

EPSKAMP, T. ; LOOI, E.-S.;ZEELENBERG, J. “Automated draft survey”, US20200148317A1, maio 14, 2020.

FERREIRA, J. L. H. FERNANDES, M. R. DOS SANTOS, C. C. e VASSALLO, R. F. “Character Recognition for Automatic Draught Survey”, in 2018 13th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON), nov. 2018, p. 332–338, doi: 10.1109/INDUSCON.2018.8627219. 2018.

GIL, G. S. R. et al. Sistema de monitoramento hidrológico com telemetria em uma pequena bacia urbana. p. 8, [s.d.]. 2019.

KRISTENSEN, H. O. H.; LÜTZEN, M. Existing Design Trends for Tankers and Bulk Carriers - Design Changes for Improvement of the EEDI in the Future. p. 16, [s.d.]. 2012.

- LABES, T. A. Modelos empíricos para estimativas preliminares dos coeficientes de forma de um navio mercante. Universidade Federal de Santa Catarina Centro de Engenharias da Mobilidade Curso De Engenharia Naval. p. 85, 2015.
- LIU Chun-Lei; ZHANG Xiu-feng; SUN Xiao-feng; YIN Yong. Improved Draft Survey Method based on densified table of offsets. Disponível em: <<http://transport.chd.edu.cn/Upload/PaperUpload/bab728e5-5552-446e-b530-bb68cbd38beb.pdf>>. Acesso em: 22 ago. 2020. 2014.
- LIU, L. “基于机器视觉的船舶吃水线自动检测方法分析 Detection of draught depth of ships based on image segmentation,” SHIP Sci. Technol., vol. 41, no. 8A, pp. 49–51, 2019, doi: 10.3404/j.issn.1672-7649.2019.8A.017. 2019.
- LLX Logística S.A. Procedimento Operacional para arqueação de navios PO.LL.TX1.002. 2013.
- MAKSIMOVIC, S.; RADICA, A.; ZIHA, K.; GOLES, S. “Effects of hull deformations on ship displacement”, in Maritime Transportation and Exploitation of Ocean and Coastal Resources, C. Guedes Soares, Y. Garbatov, e N. Fonseca, Orgs. Taylor & Francis, 2006, p. 599–605. 2006.
- MAN DIESEL AND TURBO. Basic Principles of Ship Propulsion. 2011.
- MILLER, T. Measurement of bulk cargoes - draught surveys. Disponível em: <<https://www.ukpandi.com/news-and-resources/bulletins/1970/measurement-of-bulk-cargoes---draught-surveys/>>. Acesso em: 28 ago. 2021. 2008.
- MITSURU, K. “Device for measuring difference between drafts on two sides of ship”, US10322779B2, jun. 18, 2019.
- MURARO, E.; MENOCI, G.P.; PACHECO, R.A.; CHIANG, A.; DIAS, E.M. Fotogrametria, caracterização, automação e uso dos dados de navios, aplicação para terminal portuário. VII Cidesport, Congresso Internacional de Desempenho Portuário. 2020.
- NATAL, F. M. P.; BRANDÃO, Y. B. Marinha do Brasil centro de instrução Almirante Graça Aranha Escola de Formação de Oficiais da Marinha Mercante-EFOMM Curso de formação de oficiais de náutica. p. 69, 2017.
- OLIVEIRA, L. Software adequado ao cálculo de draft survey. Monografia (Bacharelado em Ciências Náuticas) - Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, Escola de Formação de Oficiais da Marinha Mercante. Rio de Janeiro, p.34.2016
- ROCHA, S. B. D. Verificação de modelos empíricos para estimativa de coeficientes de forma de embarcações. Universidade Federal de Santa Catarina Centro Tecnológico de Joinville Curso De Engenharia Naval. p. 115. 2018.
- SCHNEEKLUTH, H.; BERTRAM, V. Ship design for efficiency and economy. Oxford: Elsevier, 1998.
- SHA, B. Y. NIU, and L. TENG, “煤炭运输船水尺计重技术现状及发展趋势 Current Situation and Development Trend of Coal Carrier Draft Survey Technology,” Coal Technol., vol. 38, no. 12, pp. 182–184, 2019, doi: 10.13301/j.cnki.ct.2019.12.062. 2019a.
- SHA, B. Y. NIU, and L. TENG, “煤炭运输船港航交重自动计量系统设计与实现 Design and implementation of automatic weight measurement system for coal carrier port,” COAL ENGINEERING, vol. 52, no. 3, pp. 37–42, 2019, doi: 10.11799/ce202003008. 2019b.
- SHIPPING and freight resource. Difference between Demurrage, Detention and Despatch. Disponível em: <https://www.shippingandfreightresource.com/demurrage-detention-and-despatch/>. Acesso em: 28 ago. 2021. 2014.
- TENG, L.; SHA, B. “基于LabVIEW的煤炭运输船舶计重吃水值自动识别系统研究 Research on automatic recognition system of coal carrier’s weight draft value based on LabVIEW,” China Coal, vol. 45, no. 9, pp. 45–50, 2019.
- TSUJII, T.; YOSHIDA, H.; IIGUNI, Y. Automatic draft reading based on image processing. Optical Engineering, v. 55, n. 10, p. 104104, out. 2016.
- UN/ECE. CODE of uniform standards and procedures for the performance of draught surveys of coal cargoes. 1992.
- XU, G. et al., “Assessing risk of draft survey by AHP method”, AIP Conference Proceedings, vol. 1955, no 1, p. 040032, abr. 2018, doi: 10.1063/1.5033696. 2018.
- XUJIAN, LV. et al. Trim Optimization of Ship by a Potential-Based Panel Method. Advances in Mechanical Engineering, v. 5, p. 378140, 1 jan. 2013.
- ZERINGUE, C. TheNavalArch. Vessel Draft Survey Accuracy. Disponível em: <https://thenavalarch.com/vessel-draft-survey-accuracy/>. Acesso em: 28 ago. 2021. 2013.
- ZHANG and Y. LI, “基于图像处理的船舶水尺计重系统设计 Design of Ship Draft Survey System Based

on Image Processing,” SHIP & OCEAN ENGINEERING, vol. 48, no. 3, pp. 175–182, 2019, doi: 10.3963/j.issn.1671-7953.2019.03.040. 2019.

ZHANG, W. ; SHI, P.; WU, C. A Ship Draft Line Detection Method Based on Image Processing and Deep Learning. Journal of Physics: Conference Series, v. 1575, p. 012230, jun. 2020.

ZHU Xuehai, LUO Yunfei. Analysis and Research on Intelligent Reading of Ship Draft Based on Image Processing and Deep Learning. Journal of Inspection and Quarantine, Vol. 30, N^o 3. 2020.