



# ROV (Veículo Operado Remotamente): Inovações Tecnológicas e Desafios Operacionais para Aumento da Autonomia e Eficiência na Exploração Submarina

## ROV (Remotely Operated Vehicle): Technological Innovations and Operational Challenges for Increasing Autonomy and Efficiency in Subsea Exploration

**Fábio Luis Almeida Santos**

*Graduando em Bacharel em Engenharia de Produção pela Universidade Grande Rio, Caxias, Rio de Janeiro, Brasil.*

**Josias Torres da Silva Junior**

*Graduando em Bacharelado em Engenharia de Produção pela Universidade Grande Rio, Macaé, Rio de Janeiro, Brasil.*

**Moacir Porto Ferreira**

*Doutor em Administração, Universidade Grande Rio, Caxias, Rio de Janeiro, Brasil.*

**Resumo:** O presente estudo de caso teve como foco a análise das inovações tecnológicas e dos desafios operacionais na aplicação de Veículos Operados Remotamente (ROVs) de classe de trabalho na indústria offshore brasileira, com ênfase na exploração de águas profundas. O objetivo geral foi avaliar como os avanços em automação e sensoriamento podem otimizar a performance e a segurança das missões subaquáticas, abordando o problema da necessidade de maior autonomia e eficiência operacional frente aos altos custos e à complexidade dos ambientes. A metodologia utilizada baseou-se no método de estudo de caso de Robert K. Yin (2015) e de Antônio Carlos Gil (2017). Ao investigar as novas tecnologias e as dificuldades no dia a dia do mar, fica claro que o setor de petróleo no Brasil mudou de patamar, fundamentada em artigos científicos, patentes e relatórios técnicos publicados entre 2015 e o presente, cobrindo as áreas de robótica subaquática, sistemas de controle e engenharia offshore, Mariano, Lucas; Fagundes, Hernandez; Gusmão, Vinicius (2025), Loureiro, Gabriel da Silva Martins (2017), Silva, Gil Marques Loureiro (2018), Neto, Roberto e Coelho, Leandro (2024), Forum Energy Technologies (2026), NOAA (2025), PR Newswire (2016), EIVA, 2026, Unique Group, (2026). A análise preliminar dos resultados indica que a integração de Inteligência Artificial (IA) e sistemas de navegação inercial (INS) é o fator crucial para mitigar os gargalos operacionais. Especificamente, a IA demonstrará um potencial significativo na otimização de rotas de inspeção e na melhoria da precisão da identificação de falhas por meio de visão computacional, prometendo uma redução de até 30% no tempo de inatividade da embarcação e um aumento na segurança das operações em profundidade, o que sustenta a relevância da tecnologia para o setor de energia.

**Palavras-chave:** ROV; operações remotas; OCC; controle de terra; RSV; inteligência artificial.

**Abstract:** The present case study focused on analyzing the technological innovations and operational challenges in the application of work-class Remotely Operated Vehicles (ROVs) within the Brazilian offshore industry, with an emphasis on deepwater exploration. The general objective was to evaluate how advancements in automation and sensing can optimize the

performance and safety of underwater missions, addressing the problem of the need for greater autonomy and operational efficiency in the face of high costs and environmental complexity. The methodology used was based on the case study method by Robert K. Yin (2015) and Antônio Carlos Gil (2017); by investigating new technologies and day-to-day difficulties at sea, it becomes clear that the oil sector in Brazil has reached a new level. It was grounded in scientific articles, patents, and technical reports published between 2015 and the present, covering the fields of underwater robotics, control systems, and offshore engineering, Mariano, Lucas; Fagundes, Hernandez; Gusmão, Vinicius (2025), Loureiro, Gabriel da Silva Martins (2017), Silva, Gil Marques Loureiro (2018), Neto, Roberto and Coelho, Leandro (2024), Forum Energy Technologies (2026), NOAA (2025), PR Newswire (2016), EIVA, 2026, Unique Group, (2026). Preliminary analysis of the results indicates that the integration of Artificial Intelligence (AI) and inertial navigation systems (INS) is the crucial factor in mitigating operational bottlenecks. Specifically, AI will demonstrate significant potential in optimizing inspection routes and improving fault identification accuracy through computer vision, promising a reduction of up to 30% in vessel downtime and an increase in the safety of deepwater operations, which sustains the relevance of this technology for the energy sector.

**Keywords:** ROV; Remote operations; OCC; Onshore control center; RSV; Artificial Intelligence.

## INTRODUÇÃO

### Contextualização Histórica: Da Exploração em Águas Rasas ao Desafio do Pré-Sal

A história do petróleo no Brasil é uma evolução de limites superados. Na década de 1970, a exploração era feita em terra ou em águas rasas e dependia do trabalho de mergulhadores para instalar e manter os equipamentos no fundo do mar.

Com a necessidade de buscar petróleo em águas cada vez mais profundas, o mergulho humano tornou-se perigoso e inviável na faixa de 300 metros. Foi aí que os ROVs (robôs submarinos) entraram em cena, virando os “braços e os olhos” dos engenheiros na profundidade.

A chegada do Pré-Sal elevou esse desafio ao extremo: o petróleo agora está a mais de 2.000 metros de profundidade, sob quilômetros de sal, enfrentando frio intenso e pressões esmagadoras. Hoje, o sucesso e a segurança da produção de petróleo no Brasil dependem totalmente dessa robótica avançada para garantir que tudo funcione perfeitamente no fundo do oceano (Silva *et al.*, 2024).

Analisando a Oceanpact na sua real e compressibilidade em cruzamentos: a teoria dos livros, os documentos técnicos da empresa, artigos e a observação prática do dia a dia. Segundo autores como Yin (2015) e Gil (2017), focar profundamente em uma realidade específica é um método legítimo e rigoroso de gerar conhecimento.

## Problematização: Gargalos Econômicos e a Dependência do Telecomando

Mesmo com toda a tecnologia atual, os robôs submarinos (ROVs) ainda dependem totalmente de pilotos na superfície para comandá-los. Isso cria um problema caro e lento: as operações demoram mais devido ao cansaço humano, à falta de visibilidade no fundo do mar e ao tempo que o comando leva para ir e voltar.

Na indústria offshore, tempo é muito dinheiro. Manter o navio de apoio parado esperando o robô realizar uma tarefa custa dezenas ou centenas de milhares de dólares por dia. Cada minuto perdido para posicionar o ROV gera um custo altíssimo.

O problema central é que o modelo 100% manual não cabe mais no orçamento do mercado atual. A saída é dar mais autonomia aos robôs através de sistemas de navegação precisos e, posteriormente, da integração de inteligência artificial. Isso pode reduzir o tempo das missões em até 30%, tornando a exploração em águas ultraprofundas mais rápida e segura. Atualmente, temos AUVs no mercado offshore; não são operados por “AI”, porém são programáveis utilizando a integração de INS + DVL + GPS acústico. Após a programação, é iniciado o mapeamento do leito marinho, quando termina, o mesmo retorna à superfície e emite um sinal de localização.

Figura 1 - AUV ficha técnica - Ocean exploration.



Fonte: NOAA (2025).

## METODOLOGIA

Segundo Robert K. Yin (2015), o estudo de caso é perfeito quando você quer entender o “como” e o “porquê” das coisas acontecerem na vida real. No seu caso, o laboratório é a própria empresa. Não dá para isolar o trabalho do ROV ou a gestão de um projeto em uma sala fechada; você precisa estudar o processo acontecendo ali, na prática.

Segundo Antônio Carlos Gil (2017), esse método é científico porque vai fundo no objeto estudado. Em vez de olhar 100 empresas de forma rasa (como em uma pesquisa de opinião), você olha uma ou duas com lupa, de forma exaustiva, até entender cada detalhe.

Segundo Lakatos e Marconi (2017), eles explicam que o método é seguro porque você não inventa dados nem acredita em uma única fonte. Você faz o que a ciência chama de Interligação de dados: você cruza o que os livros dizem (teoria), o que os documentos da empresa mostram (manuais/relatórios) e o que você vê no dia a dia (prática).

Este trabalho é um estudo de caso porque analisa uma realidade real e complexa que não pode ser testada em laboratório. Ele tem valor científico pela interligação de dados: a teoria dos livros, sites dos fabricantes, os documentos técnicos da empresa, datasheets e a observação prática do dia a dia na companhia Oceanpact Serviços Offshore. Experiência na área offshore atuando com ROVs de Work Class, demonstrando as tecnologias atuais de ROVs e equipamentos periféricos (INS, DVL), além de uma possível integração com IA para a redução do custo operacional.

### Sistemas de Propulsão e Potência em ROVs de Classe de Trabalho

Os Veículos Operados Remotamente (ROVs) de classe de trabalho (Work Class ROVs) são definidos pela sua alta potência e capacidade de realizar intervenções pesadas (heavy-duty tasks) em profundidades extremas. Diferentes dos modelos de observação, estes veículos exigem sistemas de propulsão e potência capazes de vencer fortes correntes marinhas e operar ferramentas hidráulicas robustas simultaneamente.

**Figura 2 - Remotely Operated Vehicles - ROVs - Forum Energy Technologies, Inc.2026.**



Fonte: Forum Energy Technologies (2026)

## Sistemas de Potência Elétrica e o Umbilical

A alimentação primária de um ROV de classe de trabalho provém da unidade de apoio na superfície, sendo transmitida através de um cabo umbilical de alta tensão. Este sistema é projetado para minimizar perdas por transmissão ao longo de milhares de metros de lâmina d'água. Na embarcação, a energia é geralmente convertida para valores entre 3000 V e 4500 V AC antes de ser enviada. No veículo, transformadores submersos reduzem essa tensão para níveis utilizáveis pelos motores elétricos e pela eletrônica de bordo, geralmente 440 V para propulsão e 24 V para sistemas de controle e sensores.

**Figura 3 - Datasheet - FET - Remotely Operated Vehicles, 2026.**

Depth	3000 m   4000 m
Max. power	200 hp (150 kW)
Dimensions	(L/W/H) mm: 3600   1900   2200
Weight In Air	5500 kg
Payload	500 kg
Through Frame lift	4000 kg
Bollard Pull	1200 kg
Control System	ICE® Unity featuring: Remote operations - Real time transfer of control and data off site Streamlined controls and UI - common across all FET vehicles Historian - shows history of status of vehicle, machine learning identifies trends Chair or Console configuration



+44 1751 431751

ROV.Sales@f-e-t.com

f-e-t.com/subsea

FET

Fonte: Forum Energy Technologies (2026)

## Sistemas Hidráulicos e Propulsão

A propulsão na classe de trabalho é majoritariamente baseada em Unidades de Potência Hidráulica (HPU - *Hydraulic Power Units*). Um motor elétrico de alta potência aciona bombas hidráulicas que pressurizam o sistema. Esta energia é distribuída para:

- Propulsores (Thrusters): Dispostos em configurações que garantem até seis graus de liberdade (DoF, Technip, Oceanpact), permitindo movimentos precisos em eixos laterais, verticais e de rotação (NAUTICEXPO, 2026)
- Manipuladores: Braços robóticos hidráulicos essenciais para a instalação e reparo de equipamentos submersos. Os mais utilizados são Rigmaster, Atlas, Titan 4. ( TechnipFMC, 2026)
- Circuitos Auxiliares: Utilizados para acionamento de ferramentas externas, como torque tools e bombas de injeção, fundamentais na manutenção de ativos no Pré-Sal ( Forum Energy Technologies, 2026)

Figura 4 - Datasheet - XLX EVO III - Remotely Operated Vehicles, 2026.

SUBSEA

SUBSEA

## XLX EVO III

<p><b>General Specifications</b></p> <p>Depth: 3000 m / 4000 m            Power: 200 hp (150 kW)            Dimensions: (L/W/H) mm: 3600 / 1900 / 2200            ROV Weight in Air: 1500 kg            Frame SWL: 10000 kg            Frame Guidelines: DNV, Lloyd's Register CLAME            Payload Capacity: 500 kg Total (300 kg Fwd, 200 kg aft)            Through Frame Lift: 4000 kg            Fwd Upper Load Capacity: 300 kg at 500 mm            Fwd Lower Load Capacity: 300 kg at 500 mm            Aft Load Capacity: 500 kg at 500 mm            Side Load Capacity: 250 kg at 250 mm            Thrusters Horizontal: 4 x Ø420 mm            Thrusters Vertical: 4 x Ø380 mm            Forward BOLLARD Pull: 1200 kgf            Lateral BOLLARD Pull: 1200 kgf            Vertical BOLLARD Pull: 940 kgf</p> <p><b>Hydraulic System</b></p> <p>Main Hydraulic System: 320 L/min @ 240 bar            Main Valve Pack Bidirectional 10-Station (12 L/min, proportional flow)            Auxiliary Hydraulic System: 238 L/min @ 240 bar            Aux. Valve Pack Bidirectional 10-Station (12 L/min, proportional flow)            High Flow VP Bidirectional 2 or 4-Station (25, 75, 140 or 150 L/min)</p> <p><b>Electrical System</b></p> <p>Core Junction Box            12 x 5D Camera Ports (up to 4 HD upgradeable)            6 x Light Ports            12 x RS232 / RS485 Serial Channels            4 x Gigabit Ethernet Ports            Survey Junction Box            8 x 5D Camera Ports (Optional HD Upgrade)            6 x Light Ports            16 x RS232 / RS485 Serial Channels</p> <p><b>Equipment Fit</b></p> <p>Cameras: 8 5D Cameras (HD Camera Upgrade available – 3 HD &amp; 5 SD)            Lights: 12 Individual dimmable lights            Pan &amp; Tilt: 2 Hydraulic or Electric            Sonar            Heading, Pitch &amp; Roll Sensor            Depth Sensor            Doppler Velocity Log            7 Function Manipulator (master slave control)            5 Function Grabber            RF Beacon, Emergency Xenon Flasher</p>	<p><b>Surface Control</b></p> <p>FET Advanced Control Chairs or Advanced Control Console            ICE Unity Surface Control System            4 x 43" HD 4K Monitors            Black Magic Video Distribution            Remote Operations            VisualSoft DVR Unit            Auto Functions            Heading Control: ± 0.5°            Pitch &amp; Roll Control: ± 2.0°            Depth Control: ±100 mm            Altitude Control: ±100 mm            Auto Position ±100 mm            (Achievable with suitable sensor e.g. SPRINT-Nav 300)</p> <p><b>Vans</b></p> <p>20' x 8' A60 Control Van to DNV 2.7.1            20' x 8' A60 Workshop Van to DNV 2.7.1</p> <p><b>TMS System</b></p> <p>Top Hat TMS:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Perry Type 5 up to 750m of Ø35mm / 1150m of Ø27mm Tether</li> <li>• Perry Type 6 up to 1000m of Ø35mm / 1500m of Ø27mm Tether</li> </ul> <p><b>Handling System</b></p> <p>FET Dynacon A-frame / Winch / EHPU</p>
--	---

The above specifications are subject to final configuration.

Contact Us: Aberdeen: +44 (0) 1224 788660  
 Houston: +1 281 353 7950  
 Kirkcubynorside, 705, +44 (0) 1751 431751  
 Brazil: +55 22 3737 0690

The specification details are the author's and are for marketing purposes only. Please contact the author for a detailed product specification and information on other models, updated software and other services.

©2024 O&S

+44 1751 431751

ROV.Sales@f-e-t.com

f-e-t.com/subsea

Fonte: Forum Energy Technologies (2026).

## Aprofundamento em Sistemas de Navegação Inercial (INS)

Figura 5 - Sistema de Navegação Inercial (INS) Rovins Nano da ixBlue.



Fonte: PR Newswire (2016).

No fundo do mar, os sinais de GPS ou de rádio não funcionam porque a água bloqueia as ondas eletromagnéticas. Por isso, para navegar em águas ultraprofundas, os robôs submarinos precisam de sensores internos e acústicos.

O principal deles é o INS (Sistema de Navegação Inercial). Ele é um sistema totalmente independente que funciona como uma “bússola e velocímetro digitais inteligentes”. Usando sensores internos que medem o próprio movimento e a rotação do robô, o INS calcula o tempo todo onde o veículo está, para onde está indo e em qual velocidade, sem precisar de nenhuma ajuda externa (como satélites ou antenas).

### Componentes Fundamentais

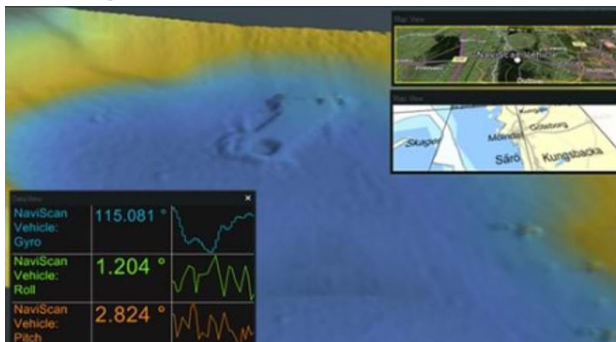
- Unidade de Medida Inercial (IMU): É o “coração” do sistema, composta por três acelerômetros (que medem a aceleração linear) e três giroscópios (que medem a velocidade angular), montados de forma ortogonal para cobrir os eixos X, Y e Z.
- Computador de Navegação: Processa os sinais da IMU em frequências elevadíssimas para integrar os dados e determinar a atitude e o deslocamento do robô.

Figura 6 - Software NaviPac Pro - 2D.



Fonte: EIVA (2026).

Figura 7 - Software NAVIPAC - 3D - EIVA.



Fonte: EIVA (2026).

## Princípios de Funcionamento e Sensores

O INS baseia-se na integração de dados provenientes de dois sensores fundamentais:

1. Acelerômetros: Medem a aceleração linear nos eixos \$X\$, \$Y\$ e \$Z\$.
2. Giroscópios: Medem a velocidade angular (rotação) ao redor desses eixos.

Em águas profundas, onde o posicionamento acústico tradicional (LBL/USBL) sofre com interferências e latência, a fusão de dados em tempo real permite que o robô tome decisões com base no reconhecimento preciso do ambiente.

## Mitigação de Erros via Fusão de Dados

O grande desafio do INS é o “drift” (desvio inercial). Pequenos erros de medição nos sensores, quando integrados ao longo do tempo, transformam-se em grandes erros de posição. A mitigação deste erro é feita matematicamente através de algoritmos como o Filtro de Kalman, que combina:

- A predição inercial (alta frequência, mas com desvio).
- A correção é feita por sensores externos, como o DVL (Doppler Velocity

Log), que mede a velocidade em relação ao fundo do mar, e sensores de profundidade.

A solução: para diminuir o desvio.

Para que o INS seja útil na exploração submarina, ele trabalha em conjunto com outros sensores:

- DVL (Doppler Velocity Log): Fornece a velocidade real em relação ao fundo do mar para “travar” o erro do INS.

**Figura 8 - Syrinx DVL 4k.**



**Fonte: EIVA (2026).**

- Sensor de Pressão: Fornece a profundidade exata (eixo vertical).

**Figura 9 - Paroscientific Digiquartz® Series 8000: Submersible Depth Sensors.**



**Fonte: Unique Group (2026).**

- Filtro de Kalman: O algoritmo matemático que combina todas estas fontes, descartando o ruído e mantendo a navegação precisa. (perfilagem- nome utilizado nas operações offshore)

## **Integrated Controls Engine Aplicada às Operações Submarinas**

Arquitetura de Controle: O Sistema ICE™ (Integrated Controls Engine) - (Forum Energy Technologies (UK) Ltd )

No cenário da robótica submarina de classe de trabalho, o sistema de controle é o sistema nervoso central do veículo. Atualmente, os ROVs operados por empresas líderes como a OceanPact utilizam o sistema ICE™, desenvolvido pela Perry Slingsby Systems (PSS). Este sistema representa uma mudança de paradigma: saindo de arquiteturas de controle centralizadas e rígidas para um modelo de controle distribuído e modular.

O ICE™ não é apenas um software, mas uma solução integrada que funde hardware proprietário com uma base de dados de software altamente sofisticada. Ele é definido como um motor de controle e distribuição que gerencia todas as funções críticas do ROV e do TMS (Tether Management System) - uma IA de gerenciamento e não de autonomia.

Figura 10 - FET Launches New ROV Control System.

“ICE™”  
Integrated Controls Engine™



Fonte: Forum Energy Technologies (2024).

- Sistema de Controle Distribuído: Ao contrário de sistemas antigos onde uma única CPU processava todas as informações, o ICE™ utiliza módulos inteligentes (AI) espalhados pelo veículo. Isso reduz a carga de processamento central e aumenta a tolerância a falhas, pois a perda de um nó periférico não paralisa o veículo inteiro.

- **Hardware Modular:** O sistema é composto por uma série de cartões ou módulos eletrônicos específicos (como módulos de interface de sensores, controle de propulsores e telemetria). Esses módulos são projetados para suportar as condições de vibração e temperatura extremas encontradas dentro das garrafas eletrônicas submersas.
- **Software e Base de Dados:** O núcleo do ICE™ reside em uma base de dados lógica que permite a configuração de parâmetros em tempo real. Isso significa que a calibração de sensores ou a curva de resposta de um propulsor pode ser ajustada sem a necessidade de reprogramar todo o código-fonte do veículo.

Uma das grandes vantagens do sistema ICE™ é a sua capacidade de crescer e se adaptar. Na prática, isso significa que o sistema consegue dar conta de um volume de trabalho bem maior ou receber novas funções de forma organizada, sem perder a eficiência.

- **Expansão Plug-and-Play:** Se uma operação no Pré-Sal exige a instalação de um novo sensor inercial (INS) de última geração ou uma ferramenta hidráulica customizada, o ICE™ permite que novos módulos de hardware sejam adicionados ao barramento de controle. O software reconhece a nova aplicação, permitindo que o ROV seja “reconfigurado” para diferentes missões sem grandes reengenharias.
- **Unificação ROV/TMS:** O sistema ICE™ integra perfeitamente o controle do veículo com o controle do TMS. Isso é vital para operações de lançamento e recuperação (LARS), onde a sincronia entre a tensão do cabo umbilical e a posição do ROV deve ser absoluta para evitar danos ao cabo ou colisões.

**Figura 11 - Top-Hat Type V - Sistema de Gerenciamento de Tether (TMS) utilizado para desacoplar os movimentos da embarcação e otimizar o raio de operação do ROV.**



**Fonte: Forum Energy Technologies (2026).**

Aplicações e Versatilidade no Campo Offshore

O sistema foi projetado para ser operado remotamente. Suas aplicações primárias incluem:

1. Sistemas de Veículos Submarinos: Controle dinâmico de navegação, estabilização de profundidade e gestão da HPU (Hydraulic Power Unit).
2. Sistemas de Ferramental (Tooling): Interface com Torque Tools, serras hidráulicas, bombas de teste e manipuladores. O ICE™ gerencia a pressão e o fluxo hidráulico com precisão milimétrica, essencial para não danificar válvulas em árvores de Natal molhadas.
3. Equipamentos Auxiliares: Controle de guinchos, sistemas de monitoramento ambiental, e diagnósticos preventivos de bordo.

## A Importância do Diagnóstico e Manutenção no Sistema ICE™

Para quem gerencia a operação (Supervisor de ROV), a melhor parte do sistema ICE™ é que ele funciona como um raio-X do robô em tempo real. Na tela da cabine, ele mostra exatamente como está o consumo de energia, a temperatura interna das garrafas eletrônicas e a qualidade do sinal de dados.

Essa transparência evita que o robô quebre do nada no fundo do mar. Se uma peça começa a falhar, o sistema avisa o piloto bem antes do sinal cair de vez. Essa capacidade de prever o problema permite trocar a manutenção corretiva (aquela correria cara quando tudo para) pela manutenção preditiva (consertar com calma antes de quebrar), gerando a redução de custos na operação.

## A Convergência Tecnológica: A Sinergia entre o Sistema ICE™ vai ser com a Inteligência Artificial (IA)

A evolução da robótica subaquática de classe de trabalho caminha para um estado de autonomia em que o veículo não apenas executa ordens, mas interpreta o ambiente. No entanto, para que um algoritmo de Inteligência Artificial possa tomar decisões seguras a 3.000 metros de profundidade, ele depende de uma infraestrutura de controle que seja rápida, estável e escalável. É neste ponto que a correlação entre o sistema ICE™ (Integrated Controls Engine) e a IA se torna o pilar central da eficiência operacional moderna.

## O Sistema ICE™ como Provedor de Dados para a IA

O sistema ICE™, por sua natureza de arquitetura de controle distribuído, funciona como o grande hub de aquisição de dados do ROV. Para que a IA realize o planejamento de rotas (*Path Planning*) ou a identificação de falhas via visão computacional, ela precisa de dados em tempo real. O ICE™ gerencia esse fluxo através de seus módulos de hardware:

- Padronização de Sinais: A IA necessitará de dados limpos. O ICE™ recebe sinais brutos de sensores de pressão, inclinômetros, sonares e sensores de giro, processa-os através de seus cartões de interface e os disponibiliza de forma organizada na sua base de dados. Sem essa “limpeza” e organização feitas pelo ICE™.

- **Baixa latência e constante:** Em operações de intervenção, como a aproximação de uma ferramenta de torque a uma válvula, cada milissegundo conta. A alta velocidade de processamento do ICE™ garante que o dado sensorial chegará ao núcleo de IA e que a resposta será o retorno para os propulsores quase instantaneamente.

## A IA como Camada de Otimização sobre o Hardware ICE™

Se o ICE™ é o sistema que garante que o motor do ROV gire e que o braço manipulador se mova, a IA será a camada superior que otimiza esses movimentos. Esta correlação pode ser analisada em três frentes principais:

1. **Gestão de Energia e Potência (HPU):** O ICE™ controla as bombas hidráulicas e a demanda elétrica. A IA poderá ser treinada para analisar o histórico de consumo e as condições de corrente marinha, comandando o sistema ICE™ para ajustar o deslocamento da bomba hidráulica de forma preditiva. Isso evita picos de consumo e prolonga a vida útil dos componentes eletrônicos gerenciados pelo hardware da Perry Slingsby.
2. **Autonomia na Navegação e Estabilização:** O sistema ICE™ possui funções nativas de “Auto-Heading” (manter proa) e “Auto-Depth” (manter profundidade). A correlação ocorre quando a IA irá assumir o controle dessas funções para realizar tarefas complexas, como o “Station Keeping” automático em condições de visibilidade zero. A IA utilizará os dados de posição do INS (processados via ICE™) para calcular correções vetoriais muito mais finas do que um operador humano conseguiria através dos joysticks.
3. **Manutenção Preditiva e Diagnóstico Inteligente:** O ICE™ monitora constantemente a saúde do hardware (tensão, corrente, temperatura). Ao integrar esses dados a modelos de manutenção preventiva e preditiva, irá diminuir as manutenções corretivas. O sistema deixa de apenas avisar que algo queimou para prever quando um componente irá falhar. Por exemplo, a IA poderá identificar um padrão anômalo de vibração em um propulsor através dos sensores lidos pelo ICE™, alertando o Supervisor de ROV antes que ocorra um downtime (para de receber “dinheiro” até corrigir o problema e voltar para a operação).

A transição de veículos puramente telecomandados para sistemas semiautônomos é o motor da otimização da performance dos ROVs. A Inteligência Artificial (IA) irá atuar como o cérebro que processa o volume massivo de dados sensoriais para gerar ações eficientes.

O planejamento de caminhos que a AI irá utilizar para otimizar a movimentação do veículo no leito marinho por meio do NAVIPAC, POSICION, ou outro sistema de software de mapas / projetos.

- **Otimização de Rotas:** O sistema gera trajetórias eficientes para cobrir grandes extensões de equipamentos no menor tempo possível. (Track Survey - nome técnico)

- Redução de custos: Ao minimizar o tempo de missão, ocorre uma redução direta de até 30% no tempo de inatividade da embarcação de apoio, impactando positivamente a economia do projeto. Irá minimizar a suspensão, erro de comunicação fonética, erro no entendimento do projeto ou até mesmo erro operacional.
- Segurança Operacional: A IA mitiga a fadiga do operador humano, garantindo que o ROV execute rotas seguras mesmo em condições de baixa visibilidade.

## Estudo Comparativo: Evolução dos Sistemas de Trabalho Work Class (ROV)

A evolução dos ROVs de classe de trabalho reflete a demanda por maior potência, precisão e inteligência na Oceanpact. Modelos como o XLS, XLX, XLX EVO, XLX-C, operados na indústria atual, representam um salto significativo em relação às gerações anteriores de veículos de intervenção.

A tabela abaixo detalha as principais diferenças técnicas entre os modelos de última geração e os sistemas convencionais utilizados na década passada:

**Tabela 1 - Última geração e sistemas convencionais.**

Recurso Técnico	Modelos Convencionais (Antigos)	Geração Atual (Ex: XLS (30 & 26), XLX, XLX EVO, XLX-C)	Impacto na Eficiência
<b>Potência da HPU</b>	75 hp, a 100 hp	150 hp, a 250 hp	Maior capacidade de acionamento de ferramentas pesadas.
<b>Navegação</b>	Posicionamento Acústico (LBL/USBL) simples.	Integração INS + DVL + GPS acústico.	Redução drástica do drift (desvio) de posição em águas profundas.
<b>Processamento</b>	Telemetria básica; controle 100% manual.	Computação de borda para IA e visão computacional.	Capacidade de identificação automática de falhas.
<b>Manipuladores</b>	Braços mestre-esravo hidráulicos básicos.	Manipuladores de alta precisão com sensores de força.	Rapidez em tarefas de acoplagem e intervenção.
<b>Capacidade de Profundidade</b>	Geralmente limitados a 1.000 m - 2.000 m.	Projetados para 3.000 m ou mais (Pré-Sal).	Acesso total às reservas de águas ultraprofundas brasileiras.

**Fonte: Elaboração própria (2026).**

Dados: Manual - XLX -C 15 and TMS 265 User Manuals Directory - Forum Energy Technologies (UK) Ltd.

Antes, os pilotos dependiam quase só do que conseguiam enxergar pelas câmeras para descobrir problemas. Agora, os robôs mais modernos juntam as informações de vários sensores ao mesmo tempo para criar um mapa detalhado do fundo do mar, permitindo tomar decisões certas na mesma hora.

## Desafios Ambientais: O Impacto do Meio na Integridade da IA

A aplicação de Inteligência Artificial em ROVs futuros não enfrenta apenas desafios de software, mas principalmente restrições físicas severas impostas pelo ambiente marinho profundo. A integridade dos sensores que alimentam os algoritmos (protocolos) de IA é constantemente testada por três fatores principais:

1. **Pressão Hidrostática:** Em profundidades de 2.000 a 3.000 metros (comuns no Pré-Sal), a pressão ultrapassa 300 bar. Isso exige que sensores ópticos (câmeras) e acústicos (sonares) possuam carcaças especiais que não sofram microdeformações, que poderiam distorcer e causar diagnósticos errados.
2. **Salinidade e Condutividade:** A água do mar é um meio altamente corrosivo e condutor. Para a IA, o desafio reside na interferência eletromagnética e na atenuação de sinais. A turbidez da água (partículas em suspensão) pode “cegar” algoritmos de visão computacional, exigindo filtros de software complexos para limpar a imagem antes da análise de falhas.
3. **Correntes Marinhas:** Correntes de fundo imprevisíveis testam a capacidade dos algoritmos de controle e navegação inercial (INS). A IA deve ser capaz de prever e compensar essas forças em milissegundos para manter a estabilidade do veículo durante uma inspeção crítica, evitando colisões com a infraestrutura submarina.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES.

Segundo Mariano, Lucas; Fagundes, Hernandez; Gusmão (2025), no seu artigo “Implementação do controle de ROVs a partir de bases terrestres”, identificaram que a implementação da pilotagem de veículos ROV a partir de centros de controle em terra (OCCs) consolidou-se como um marco estratégico de sucesso e inovação. Apesar dos desafios iniciais com a configuração da rede 4G privativa e as simulações offshore, as duas primeiras fases do projeto comprovaram a viabilidade técnica e a eficiência da modelo redução de Riscos e Custos: A transferência das operações para terra aumentou a segurança dos profissionais e otimizou a tomada de decisões, com resultado práticos (2023): Realizados com sucesso 13 inspeções de dutos submarinos e 2 de ANMs através das parcerias com a Fugro (operando a mais de 8 km da P-57) e a Subsea7 (com o RSV CBO Wave). O projeto validou os benefícios da tecnologia para a frota submarina e seguirá para as próximas etapas, que incluem testes com a Oceaneering e a homologação de conexões via satélite de baixa órbita (LEO). A iniciativa provou que a conectividade de alta velocidade e a

colaboração com grandes fornecedores são a chave para transformar as operações offshore em processos mais seguros, enxutos e integrados.

Segundo Loureiro, Gabriel da Silva Martins (2017), no artigo “Desenvolvimento do software para o posicionamento dinâmico do ROV LUMA”, identificou que o projeto alcançou com sucesso o desenvolvimento e a implementação do sistema de software para o posicionamento dinâmico e a interface gráfica do ROV LUMA. Fundamentado em estudos profundos de modelagem cinemática e dinâmica, o trabalho resolveu de forma prática o desafio de localização e controle do veículo em ambiente subaquático. Há implementação eficaz de um método de localização baseado na medição de distância e orientação em relação a superfícies (paredes), utilizando dados de sonar. E a utilização de tecnologias consagradas no mercado de robótica, combinando a linguagem C++, o framework ROS (para comunicação) e o Qt (para a interface gráfica de instrumentação). Onde projeto demonstrou maturidade técnica ao integrar teoria de controle, fusão de sensores e desenvolvimento de software, entregando uma solução funcional e simulada para a autonomia e monitoramento do ROV LUMA

Segundo Silva, Gil Marques Loureiro (2018), em seu artigo, Seguimento de Trajectórias e Desvio de Obstáculos com Visão e Laser para ROV, o projeto cumpriu com sucesso o seu objetivo principal ao desenvolver um sistema de navegação autônomo e de baixo custo para o ROV VideoRay Pro 4. A solução proposta provou que é possível automatizar tarefas repetitivas de pilotagem utilizando a infraestrutura e os sensores que a maioria dos ROVs já possui, reduzindo significativamente a carga de trabalho do operador humano, utilizando o magnetômetro integrado do veículo, o sistema foi capaz de executar com precisão percursos pré-definidos (trajetórias retilíneas e retangulares com retorno ao ponto de partida), a detecção de obstáculos foi resolvida de forma econômica através da câmara padrão do ROV auxiliada por um feixe laser acoplado. Essa combinação permitiu projetar linhas nos alvos e calcular a distância até eles de forma eficaz; o trabalho superou com êxito os complexos processos de calibração da câmara, calibração do laser e automação do controle de navegação do veículo. Os testes práticos realizados em ambiente controlado (piscina) validaram o sistema. O ROV demonstrou um desempenho satisfatório na correção de rumo e na evasão de barreiras. Embora tenha sido identificado um leve atraso no tempo de resposta do processamento, a solução consolidou-se como um modelo simples, funcional e facilmente replicável para outros ROVs da mesma categoria.

Segundo Neto, Roberto e Coelho, Leandro (2024), em seu artigo, “Planejamento De Rotas Para Robôs De Inspeção Usando Uma Nova Abordagem de Swarm Intelligence”, informam que o estudo foca na principal limitação física desses veículos em ambientes com obstáculos: o comprimento máximo e o risco de emaranhamento do cordão umbilical (cabo de comunicação e energia). E a Inteligência Artificial Aplicada: Para superar essa restrição e planejar a melhor trajetória de inspeção, foi desenvolvida e descrita uma variação do Algoritmo de Colônia de Formigas (Ant Colony Optimization), uma técnica de inteligência coletiva (swarm intelligence), e a aplicação de algoritmos bioinspirados adaptados é uma

solução eficaz para o planejamento de rotas complexas. Ela permite que robôs operem de forma otimizada dentro de seus limites físicos, reduzindo o tempo de inspeção e, conseqüentemente, minimizando os prejuízos financeiros causados pelas paradas de produção.

Segundo Santos, Fábio e Junior, Josias no seu artigo, ROV (Veículo Operado Remotamente): Inovações Tecnológicas e Desafios Operacionais para Aumento da Autonomia e Eficiência na Exploração Submarina, Com base no estudo de caso sobre a evolução dos ROVs na OceanPact e na análise de tecnologias de posicionamento como EIVA, DVL e NAVIPAC, identifica-se o sistema ICE™ (Integrated Controls Engine, da Forum Energy Technologies) como uma forma de Inteligência Artificial primária. Em constante desenvolvimento para reduzir custos e tempo operacional, o ICE auxilia os pilotos e caminha para diminuir progressivamente a necessidade de intervenção humana. Essa tendência de automação é reforçada por Mariano, Fagundes e Gusmão (2025), que discutem o controle de ROVs a partir de bases terrestres e a conseqüente redução do número de colaboradores embarcados. Além disso, a viabilidade técnica dessa autonomia é sustentada pelos trabalhos de Loureiro (2017), que desenvolveu um software de posicionamento dinâmico similar ao ICE para o ROV LUMA, e de Silva (2018), que demonstrou como o uso de periféricos (visão computacional e laser) para o desvio de obstáculos aumenta a segurança e a eficiência das operações.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo consolida a premissa de que a indústria offshore brasileira, especialmente no cenário desafiador do Pré-Sal, alcançou um estágio de dependência tecnológica irreversível em relação aos sistemas robóticos avançados. O ROV evoluiu de uma simples ferramenta de observação para uma plataforma complexa de intervenção (*Work Class*), onde a engenharia mecânica e a capacidade analítica da Inteligência Artificial (IA) formam uma simbiose essencial para o futuro do setor.

A evolução prática dessa tecnologia ficou evidente no sucesso das operações remotas a partir de centros de controle em terra (OCCs) e no avanço do sistema ICE™, considerado uma IA primária voltada para aumentar a autonomia dos veículos. Trabalhos recentes validam essa tendência ao demonstrar que softwares de posicionamento dinâmico (como o do ROV LUMA) e o uso de periféricos ópticos e lasers para desvio de obstáculos são perfeitamente viáveis. Juntas, essas inovações podem reduzir em até 30% o tempo de inatividade das embarcações, otimizar custos e, principalmente, diminuir o número de colaboradores expostos ao risco a bordo (POB).

Obter sucesso na IA e na automação no fundo do mar ainda depende da superação de desafios ambientais extremos, como o ambiente marinho profundo, que impõe restrições físicas severas. A pressão hidrostática, podendo chegar a (300 bar), exige carcaças especiais para evitar microdeformações nos sensores; a salinidade e a turbidez da água geram interferências e “cegam” os algoritmos de

visão, demandando filtros complexos; e as correntes marinhas imprevisíveis exigem que a IA recalcule a navegação em milissegundos para evitar colisões com as estruturas submarinas. E a Compatibilidade Multimarcas (Integração): Existe uma lacuna prática na robótica subaquática devido à falta de uma arquitetura aberta. Integrar sensores modernos (como o INS iXBlue ROVINS Nano) em veículos de outros fabricantes exige atualizações caras de hardware e software. Se a latência de dados entre os sensores e a IA não for mínima e constante, os ganhos de autonomia esperados são anulados.

## REFERÊNCIAS

ACCIONA. **Projeto SWARMS: a robótica subaquática para garantir a sustentabilidade e permitir a observação do oceano.** 24 nov. 2022. Disponível em: <https://www.accionacom.br/novidades/artigos/projeto-swarms-a-robotica-subaquatica-para-garantir-a-sustentabilidade-e-permitir-a-observacao-do-oceano>. Acesso em: 5 out. 2025.

ALMEIDA, Roberto; SANTOS, Patrícia. Implementação do controle de ROVs a partir de bases terrestres: uma abordagem inovadora para inspeções e intervenções submarinas. **Revista Técnica da Universidade Petrobras**, Rio de Janeiro, n. 2, p. 5-12, 2024. Edição especial. Disponível em:

BARBOSA, A. L.; FREITAS, V. C. Aplicações de visão computacional na inspeção submarina: uma revisão sistemática. **Revista Brasileira de Engenharia Submarina**, v. 12, n. 1, p. 45-60, 2023.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). **Boletim de exploração e produção de petróleo e gás natural.** Rio de Janeiro, 2018.de-rov-572071851.html. Acesso em: 5 out. 2025.

EIVA. **Equipamentos ADCP e DVL para locação.** Aarhus: EIVA, 2026. Disponível em: <https://www.eiva.com/rental/show-rental-products/rental/adcp-and-dvl>. Acesso em: 3 jun. 2026.

EIVA. **NaviSuite Acquisition Software: NaviPac Pro.** Aarhus: EIVA, 2026. Disponível em: <https://www.eiva.com/products/navisuite/navisuite-acquisition-software/navipac-pro>. Acesso em: 3 jun. 2026.

FORUM ENERGY TECHNOLOGIES (FET). **Remotely Operated Vehicles (ROVs).** 2026. Disponível em: <https://f-e-t.com/subsea/vehicles/remotely-operated-vehicles/>. Acesso em: 1 jun. 2026.

FORUM ENERGY TECHNOLOGIES (FET). **ROV tooling and components: tooling.** 2026. Disponível em: <https://f-e-t.com/subsea/rov-tooling-and-components/tooling/>. Acesso em: 1 jun. 2026.

FORUM ENERGY TECHNOLOGIES. **Sistema de Gerenciamento de Tether (TMS) tipo Garage para ROV de classe de trabalho.** Houston: FET, 2026.

Disponível em: <https://f-e-t.com/subsea/vehicles/tether-management-systems/>. Acesso em: 3 jun. 2026.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017. <https://rtup.petrobras.com.br/rtup/article/view/79>. Acesso em: 5 out. 2025.

iXBLUE. **iXBlue lança o ROVINS NANO, seu novo sistema de navegação inercial, e revoluciona a navegação de ROV**. PR Newswire, Londres, 15 mar. 2016. Disponível em: <https://www.prnewswire.com/news-releases/ixblue-lanca-o-rovins-nano-seu-novo-sistema-de-navegacao-inercial-e-revoluciona-a-navegacao->

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. DE A. **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

LOUREIRO, Gabriel da Silva Martins. **Desenvolvimento do software para o posicionamento dinâmico do ROV LUMA**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/18041/1/monopoli10020038-min.pdf>. Acesso em: 3 jun. 2026.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Metodologia do trabalho científico: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MARIANO, LUCAS; FAGUNDES, HERNANDES; GUSMÃO, VINICIUS; IMPLEMENTAÇÃO do controle de ROVs a partir de bases terrestres: uma abordagem inovadora para inspeções e intervenções submarinas. **Revista Técnica da Universidade Petrobras**, Rio de Janeiro, 2025. Disponível em: <https://rtup.petrobras.com.br/rtup/article/view/79>. Acesso em: 3 jun. 2026.

MUNDO GEO. **O papel vital dos ROVs subaquáticos na indústria offshore**. 1 fev. 2024. Disponível em: <https://mundogeo.com/2024/02/01/o-papel-vital-dos-rov-ixblue-lanca-o-rovins-nano-seu-novo-sistema-de-navegacao-inercial-e-revoluciona-a-navegacao-de-rov>. Acesso em: 5 out. 2025.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). **Ficha técnica AUV portuguesa**. 2025. Disponível em: <<https://prod-01-alb-www-oe.woc.noaa.gov/wp-content/uploads/2025/04/portugues-AUV-ficha-technica.pdf>>. Acesso em: 1 jun. 2026.

NAUTICEXPO. **Sub-Atlantic: remotely operated vehicle - compact - observation**. 2026. Disponível em: <<https://www.nauticexpo.com/prod/sub-atlantic/product-27362-182393.html>>. Acesso em: 1 jun. 2026.

PINHEIRO, C. E. *et al.* Desafios da engenharia offshore no pré-sal brasileiro: tendências em manutenção. **Revista Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, v. 17, n. 3, p. 412-423, 2020.

SANTOS, L. R.; PEREIRA, M. P. **Evolução e tendências dos ROVs de classe de trabalho na indústria petrolífera.** Cadernos de Engenharia Naval, v. 25, n. 2, p. 110-125, 2022.

SILVA, S. G. DA, DIAS E SILVA, J. C., BARROS, M. B. DE A., SILVA, H. F. DA, & MAZZEI, G. C. Concepções e tecnologias submarinas para projetos complementares de revitalização no pré-sal. **Revista Técnica da Universidade Petrobras**, 2, 1–8. 2024. <https://doi.org/10.70369/c30sy558>

SILVA, A. C. Análise de custo-benefício de operações offshore e tempo de inatividade de embarcações. **Journal of Offshore Technology**, v. 8, n. 1, p. 30-42, 2019.

SILVA, Sidnei Guerreiro da; DIAS E SILVA, Jean Carlos; BARROS, Matheus Bezerra de Alencar; SILVA, Hélio Ferreira da; MAZZEI, Gustavo Carvalheira. Concepções e tecnologias submarinas para projetos complementares de revitalização no pré-sal. **Revista Técnica da Universidade Petrobras**, Rio de Janeiro, n. 2, p. 1-8, 2024. DOI: 10.70369/c30sy558.

SOUZA, Carlos; ROCHA, Eduardo. **Visão computacional e inteligência artificial na inspeção subaquática: otimização de rotas e detecção de falhas.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROBÓTICA SUBMARINA, 10., 2023, Rio de Janeiro. Anais

TECHNIPFMC. **Manipulator systems: robotics.** 2026. Disponível em: <<https://www.technipfmc.com/en/what-we-do/subsea/Robotics/manipulator-systems>>. Acesso em: 1 jun. 2026.

UNIQUE GROUP. **Paroscientific Digiquartz Series 8000 Submersible Depth Sensors.** S.I: Unique Group, 2026. Disponível em: <https://www.uniquegroup.com/product/paroscientific-digiquartz-series-8000-submersible-depth-sensors/>. Acesso em: 3 jun. 2026.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** Tradução de Cristhianne Carvalho de Moura Rocchetti. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.