



**INSTITUTO  
FEDERAL**  
Santa Catarina

Câmpus  
São José

---

# Sistema de Comunicação Subaquática de Longa Distância por Luz Visível com Díodo de Avalanche de Fóton Único

---

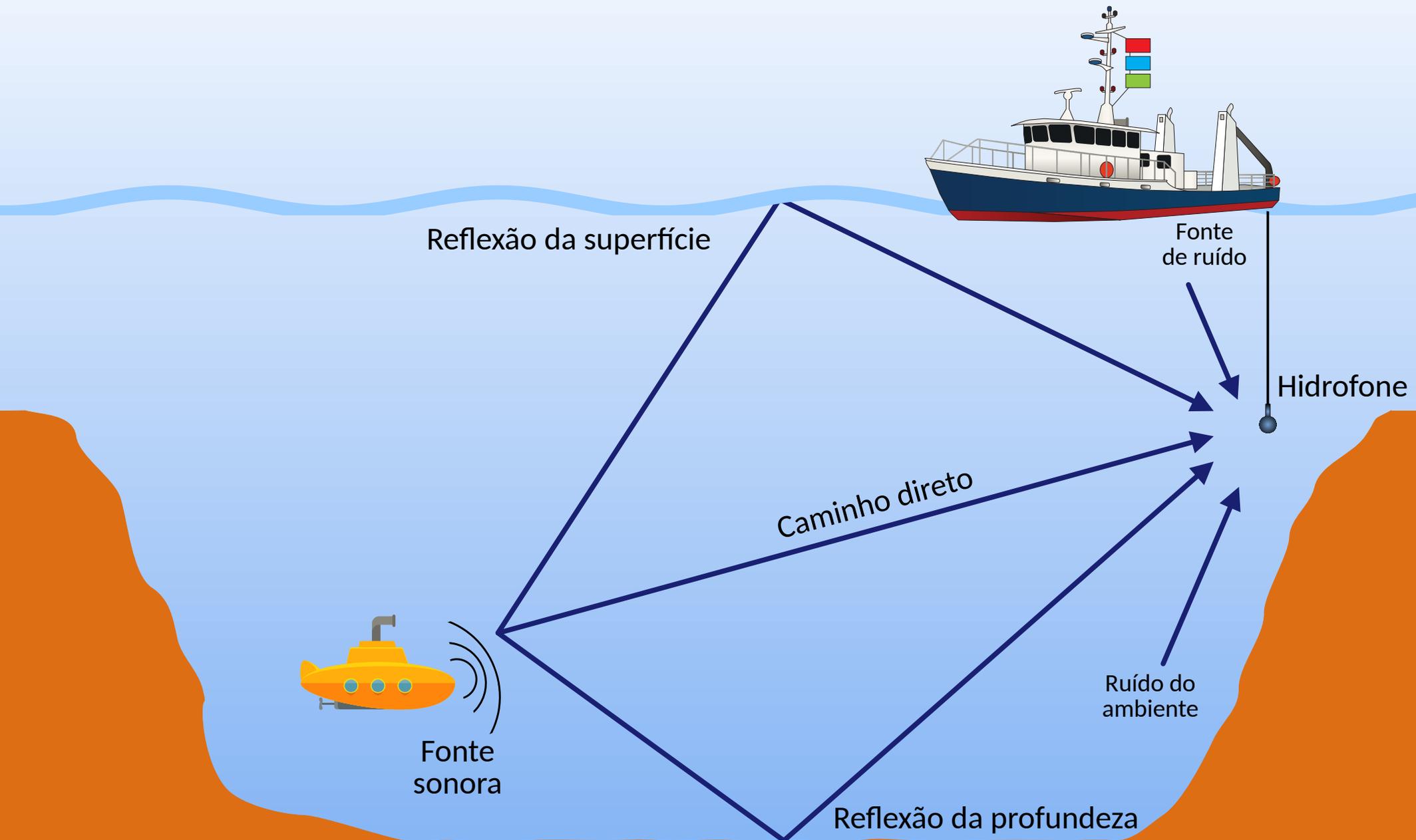
Curso: Engenharia de Telecomunicações  
Disciplina: MTG29007 – Meios de Transmissão Guiados  
Professora: Evanaska Maria Barbosa Nogueira

Aluno

João Pedro Menegali Salvan Bitencourt

# Comunicação subaquática

- Comunicação por ondas acústicas



Comunicação por luz visível

# Comunicação por luz visível

- Utiliza o espectro visível da luz para a transmissão de informações.

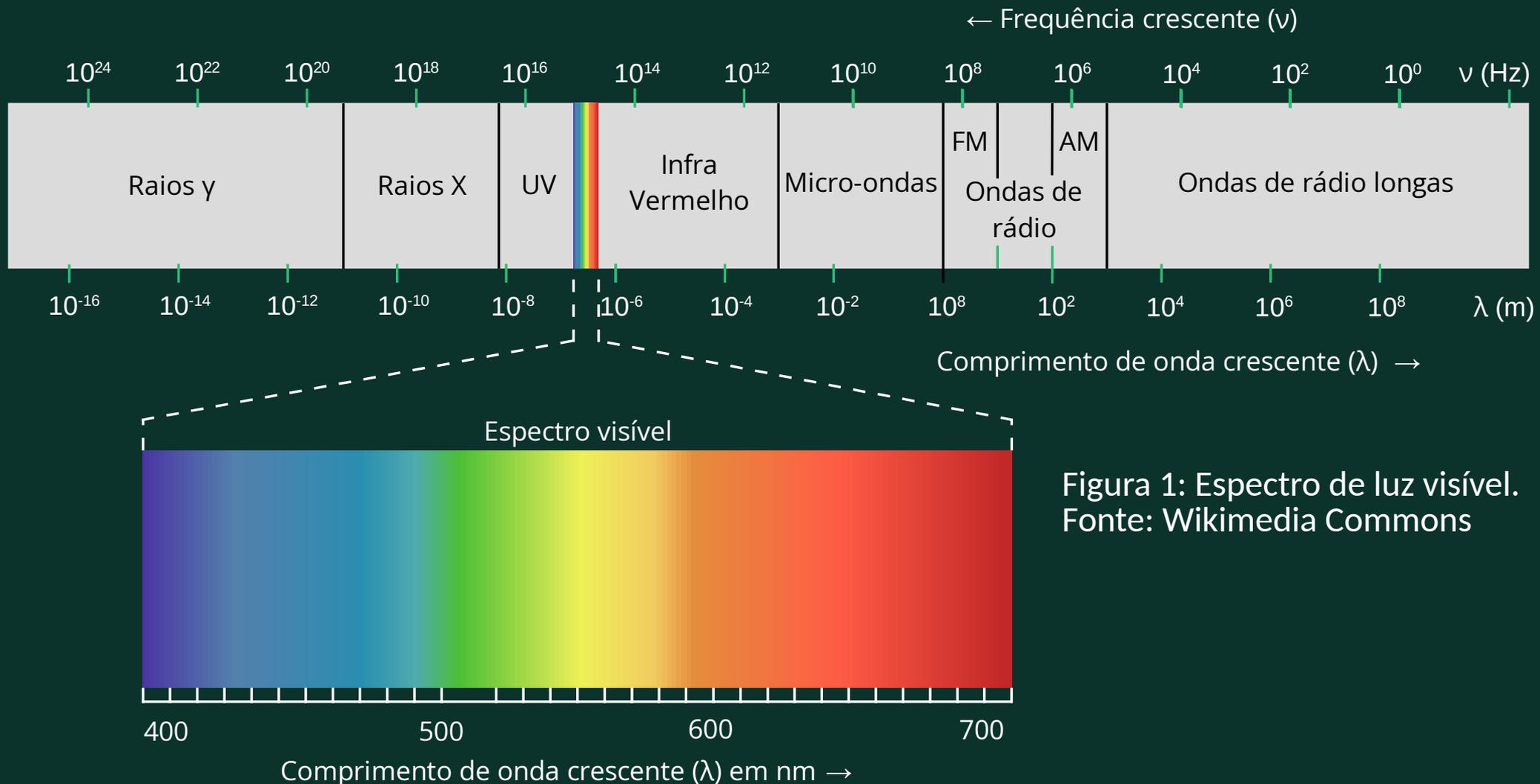


Figura 1: Espectro de luz visível.  
Fonte: Wikimedia Commons

# Comunicação por luz visível

- Utiliza o espectro visível da luz para a transmissão de informações.

## Aplicações externas

- Transmissores utilizando faróis;
- Sistemas de transporte inteligente;
- Comunicações subaquáticas.

# Comunicação por luz visível

## Considerações

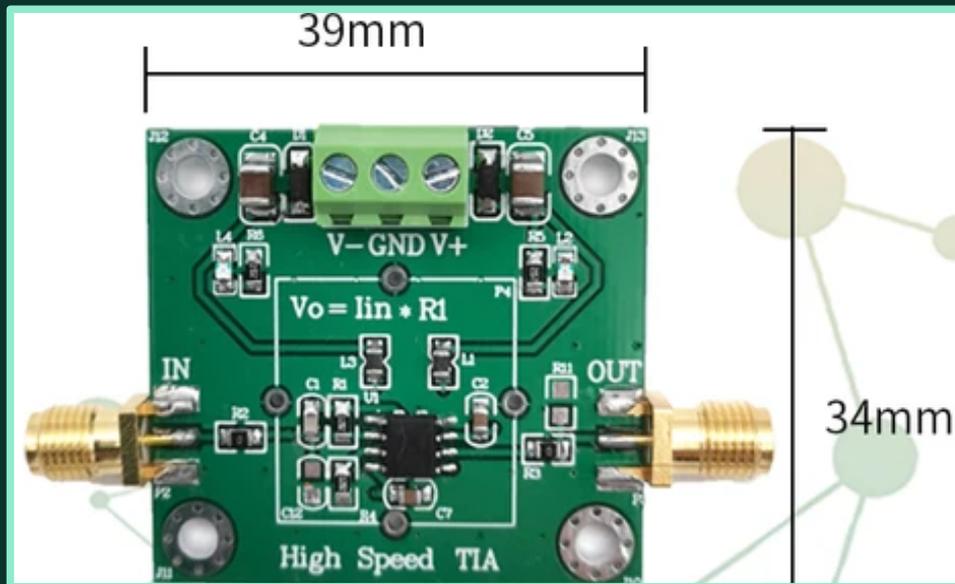
- Em interiores, sempre opera com forte intensidade ótica sobre os dispositivos de detecção fotoelétricos:
- Fotodiodo
- Fotodiodo de avalanche



# Comunicação por luz visível

## Considerações

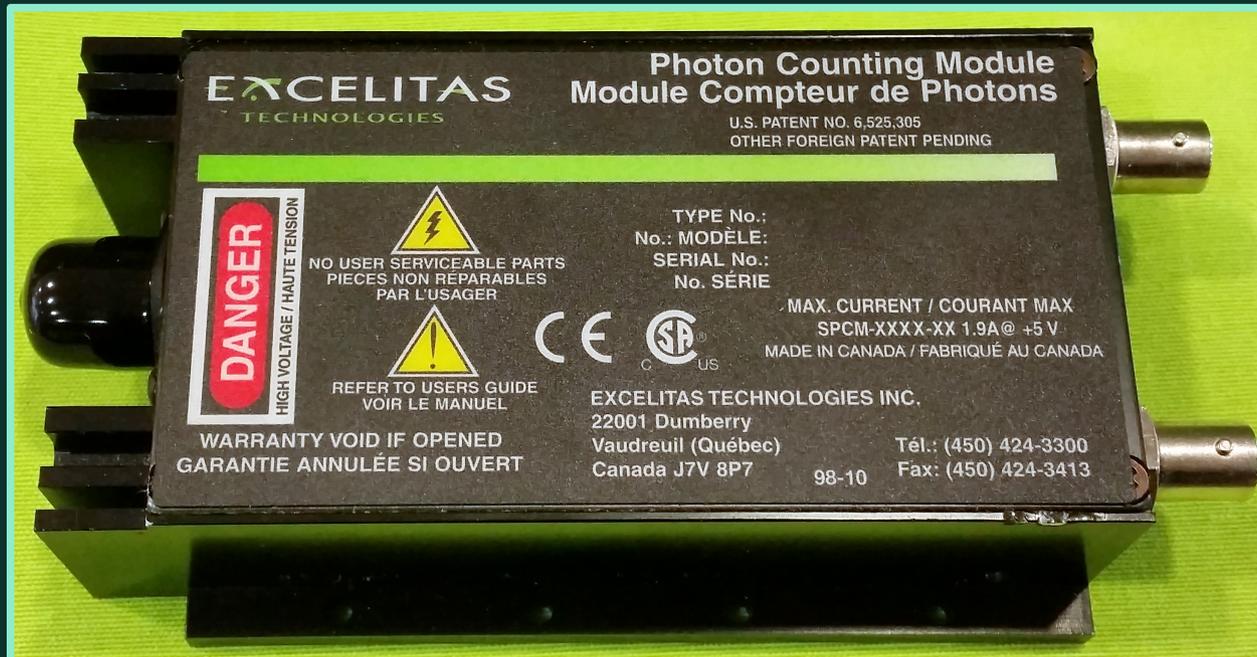
- Sistemas de longa distância são prejudicados pela ruído do amplificador de transimpedância (TIA)
- TIA



# Comunicação por luz visível

## Novos estudos

- Os diodos de avalanche de fóton único (SPAD) podem ser usados como detectores e não precisam do TIA.
- SPAD



# Comunicação por luz visível

## Novos estudos

- Diodos de avalanche de fóton único:
  - Suportam altas tensões reversas de polarização;
  - Opera em modo Geiger:
    - Operação de um contador Geiger-Muller, um dispositivo usado para detectar radiação ionizante, como raios X ou partículas alfa, beta e gama.
    - Utiliza detecção por centelamento gasoso, que gera um pulso elétrico detectável que ocorre quando uma partícula ionizante passa pelo gás no interior do tubo do contador e ioniza os átomos do gás, criando uma descarga elétrica;
    - Possui alta sensibilidade;
    - Sinal de saída não é distorcido por ruído térmico.

# Comunicação por luz visível

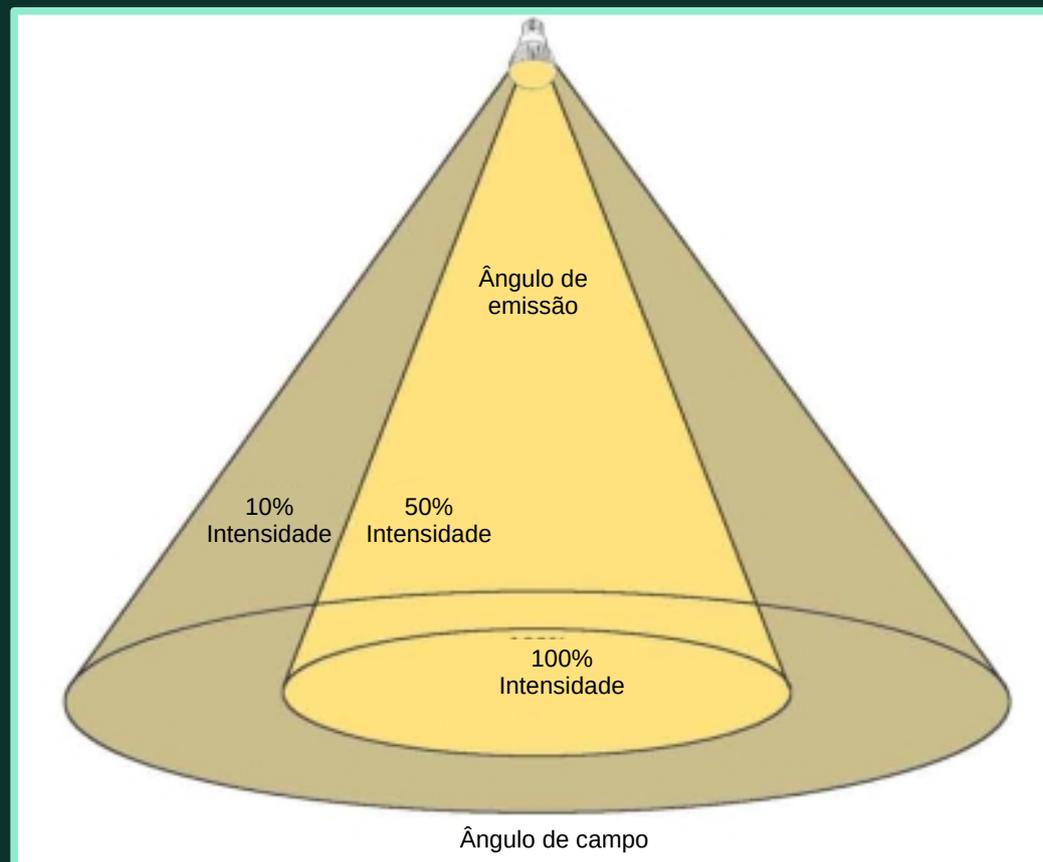
## Proposições

- Projeto de um sistema subaquático, cujo ângulo de meia potência de um LED é estreitado para aumentar a intensidade no transmissor;
- Uso do SPAD no receptor para melhorar a sensibilidade de detecção;
- Um modelo de canal descrito por uma função exponencial de dois termos para esse sistema subaquático;
- Os parâmetros do canal são obtidos pela Simulação Numérica de Monte Carlo (MCNS);
- Sistema de simulação para verificar a taxa de erro de bit para o sistema subaquático, cujos parâmetros são escolhidos de acordo com um ambiente mais próximo da realidade possível.

# Comunicação por luz visível

## Ângulo de meia potência do LED

- 50% da incidência do feixe



# Comunicação por luz visível

## Informações

- Coeficientes de atenuação para diferentes tipos de água:

Tipo de água	$a(\lambda)(m^{-1})$	$b(\lambda)(m^{-1})$	$c(\lambda)(m^{-1})$
Água do mar pura	0,053	0,003	0,056
Oceano limpo	0,069	0,08	0,15

# Comunicação por luz visível

## Informações

- Parâmetros do SPAD e do sistema ótico

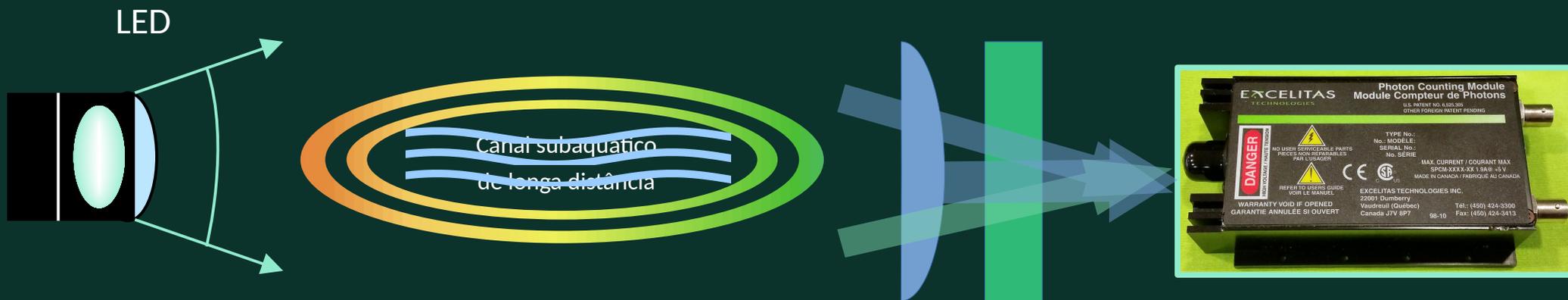
---

Comprimento de onda da luz ( $\lambda$ )	532 nm
Eficiência da fotodeteção do SPAD ( $C_{\text{EFD}}$ )	0,35
Taxa de contagem escura do SPAD ( $N_{\text{TCE}}$ )	50
Tempo de inatividade do SPAD	20 ns
Ângulo do campo de visão do receptor ( $\psi$ )	10°, 30°
Diâmetro da abertura do detector do receptor	0,044 m
Transmitância do sistema ótico do receptor ( $\eta_r$ )	0,7
Transmitância do sistema ótico do transmissor ( $\eta_t$ )	0,8
Coeficiente de refração da lente ótica ( $\eta_{\text{lente}}$ )	1,5
Ângulo de meia potência do transmissor ( $\phi$ )	5°, 10°

---

Sistema proposto

# Sistema proposto

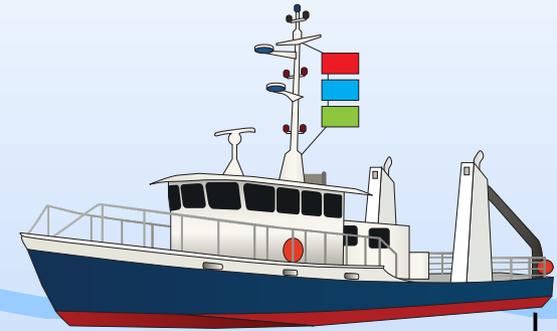


Potência de transmissão e ângulo de meia potência são ajustáveis

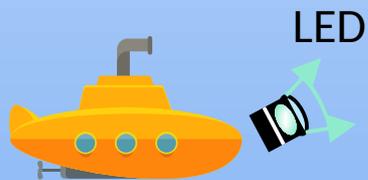


Cenário planejado

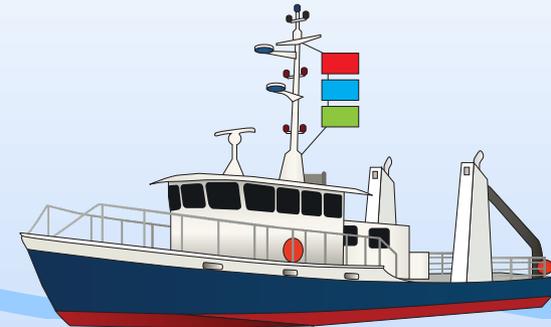
- Comunicação subaquática por luz visível



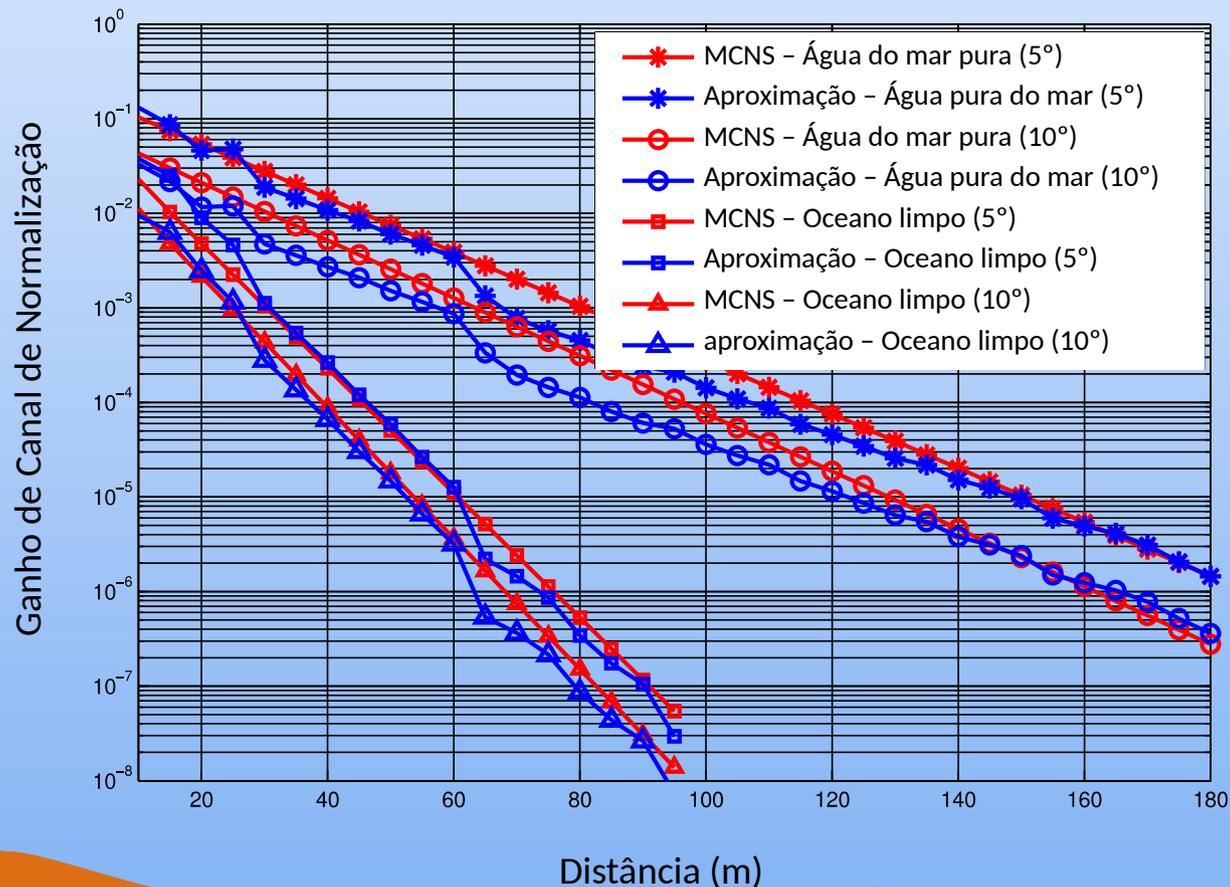
Receptor  
SPAD



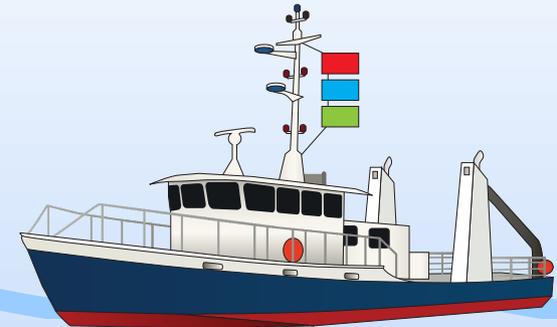
# • Comunicação subaquática por luz visível



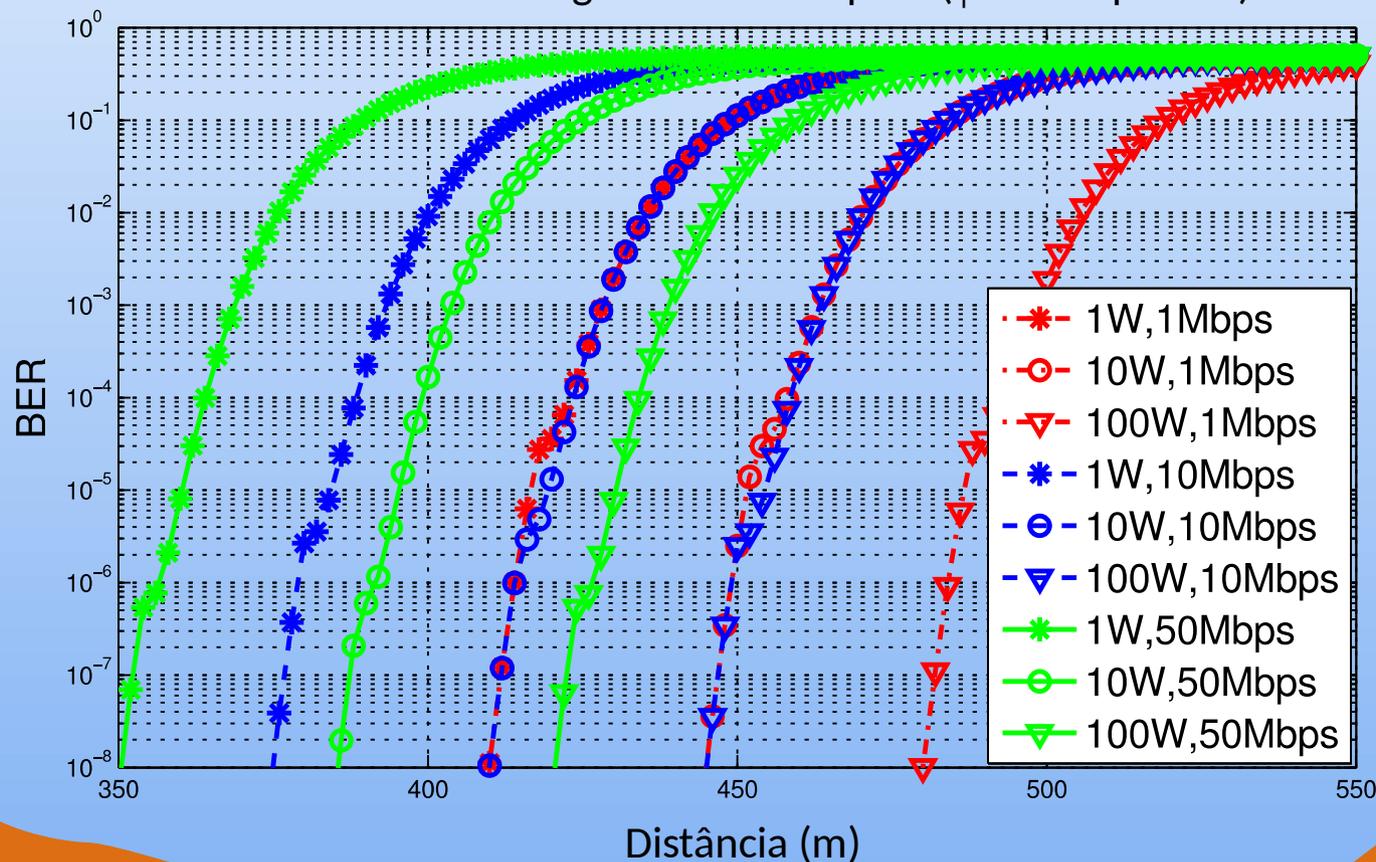
Simulação MCNS e Aproximação Exponencial de Dois Termos



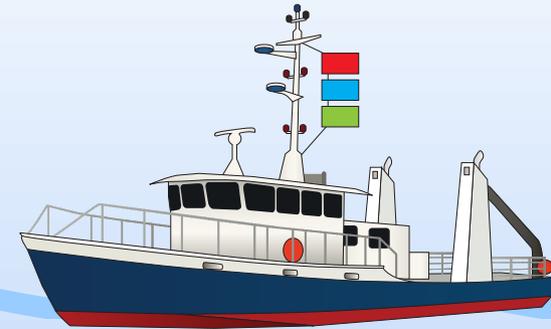
# • Comunicação subaquática por luz visível



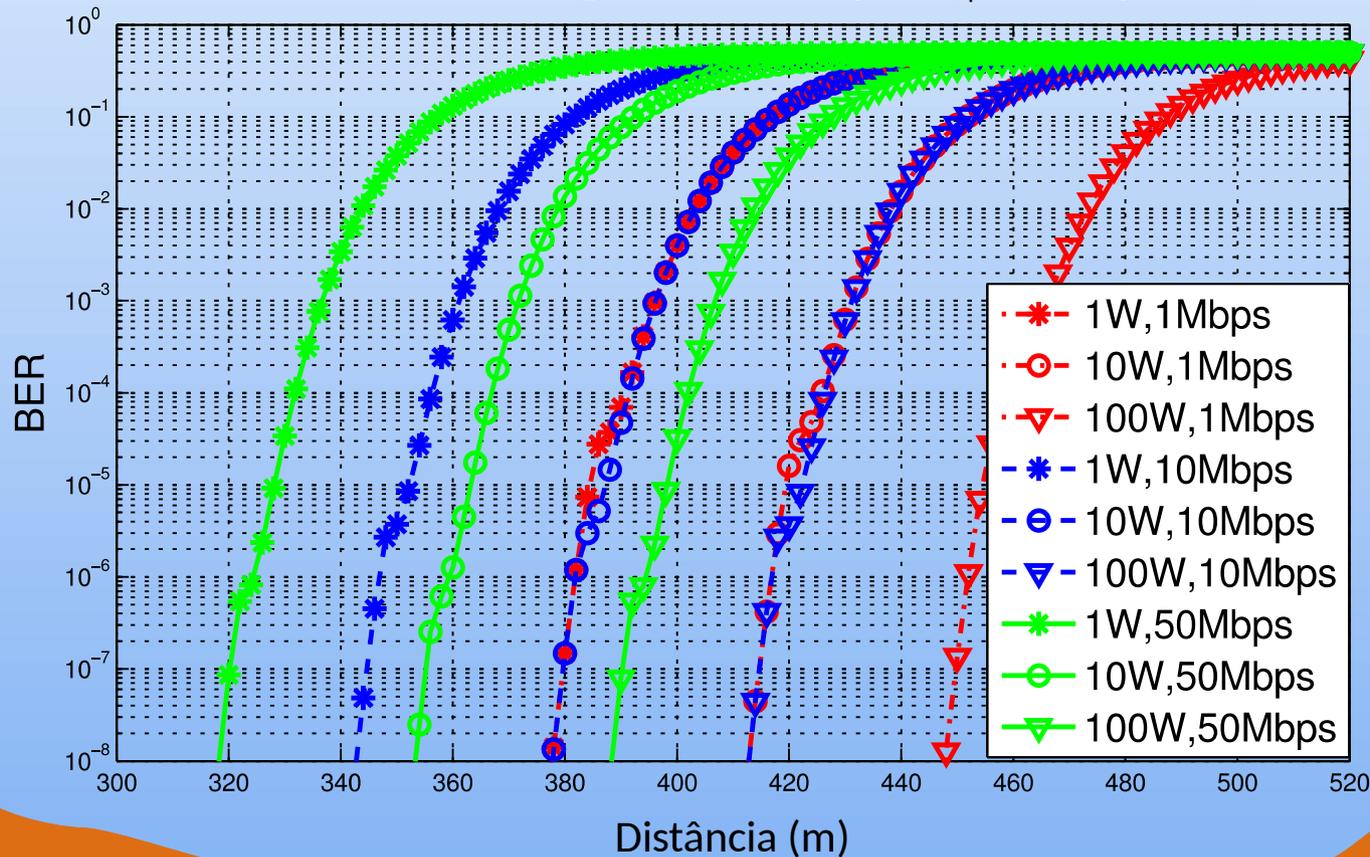
UVLC com SPAD na água do oceano pura ( $\phi = 5^\circ$  e  $\psi = 10^\circ$ )



# • Comunicação subaquática por luz visível



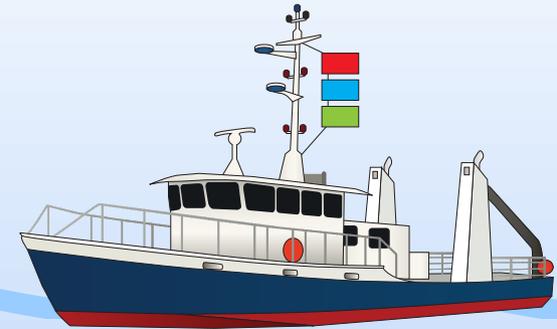
UVLC com SPAD na água do oceano pura ( $\phi = 5^\circ$  e  $\psi = 30^\circ$ )



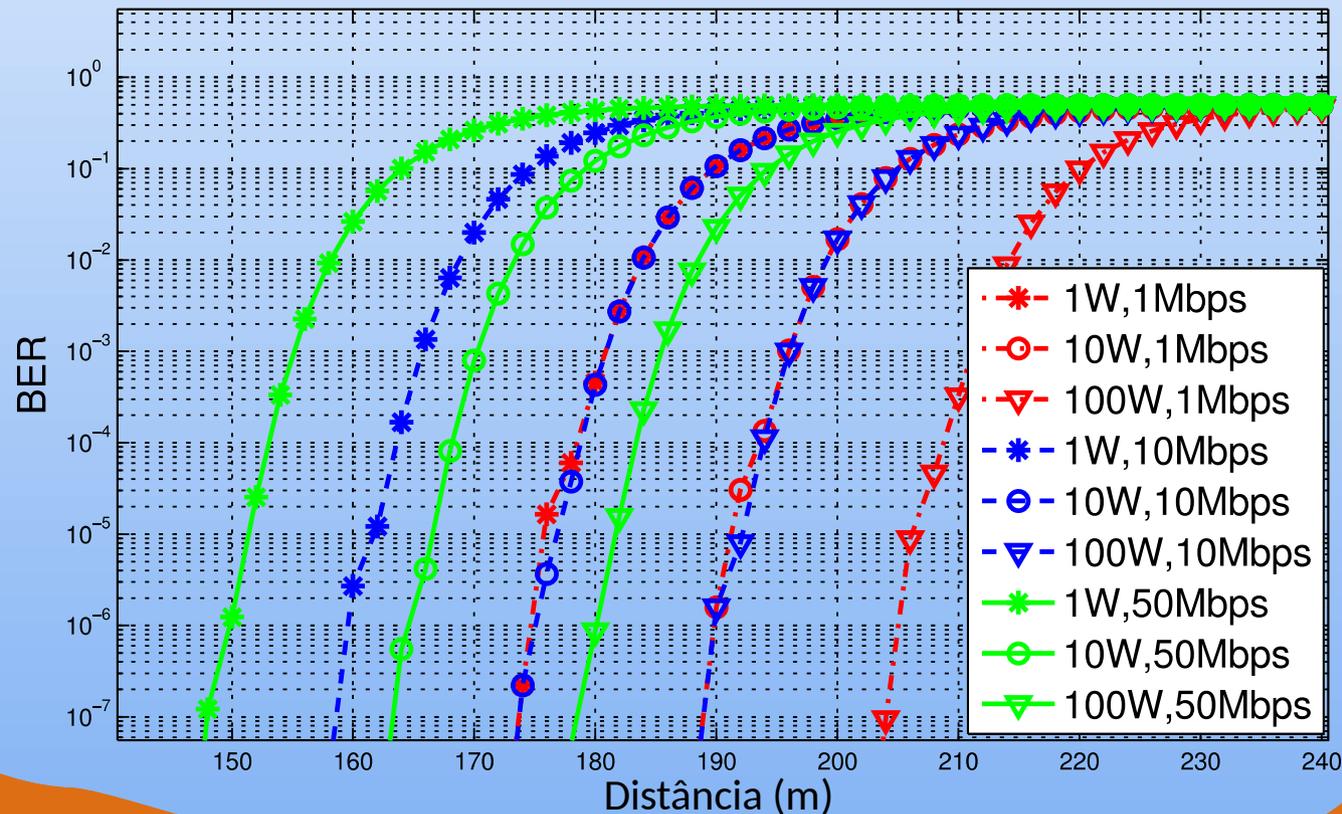




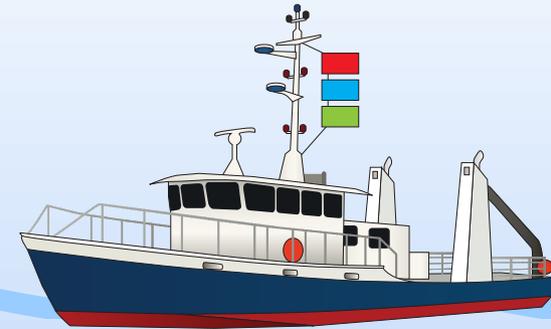
# • Comunicação subaquática por luz visível



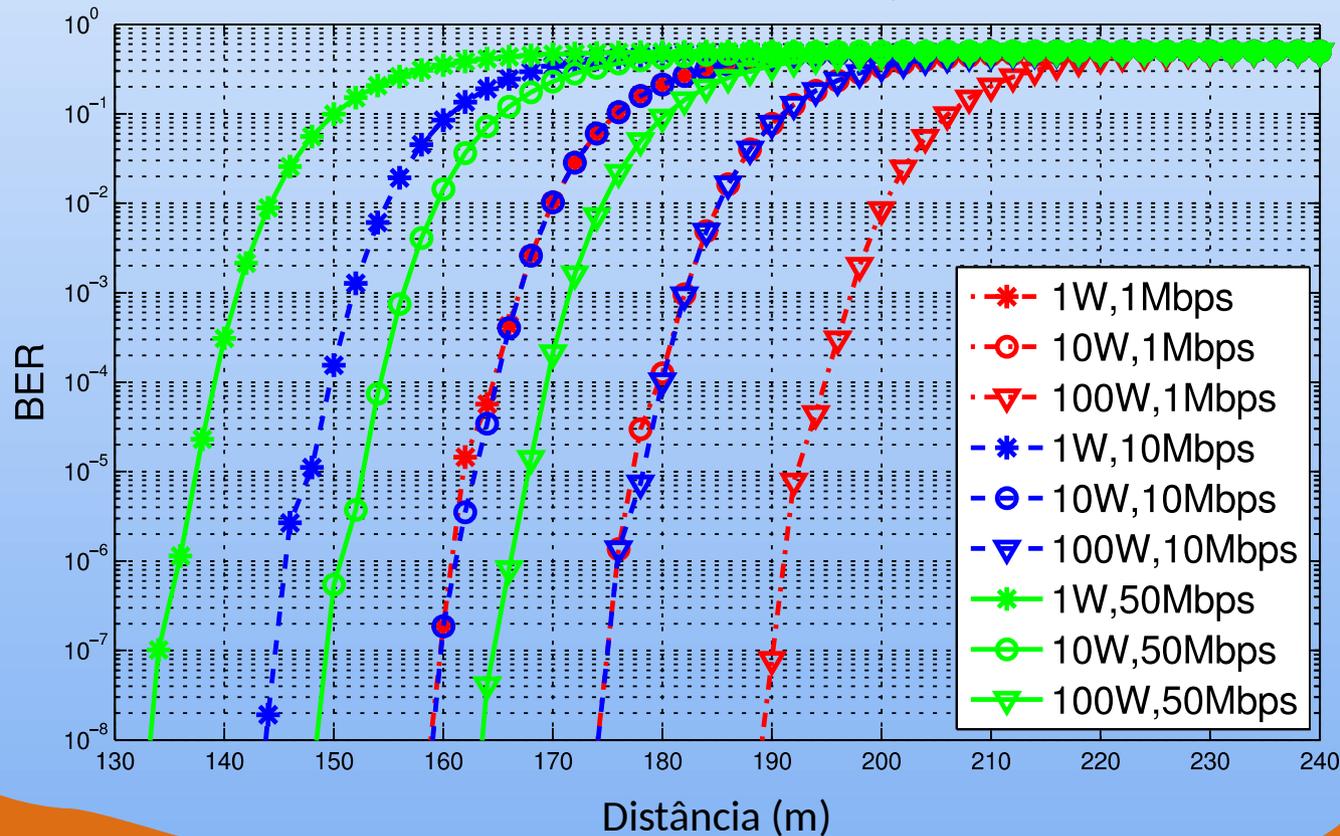
UVLC com SPAD em oceano limpo ( $\phi = 5^\circ$  e  $\psi = 10^\circ$ )



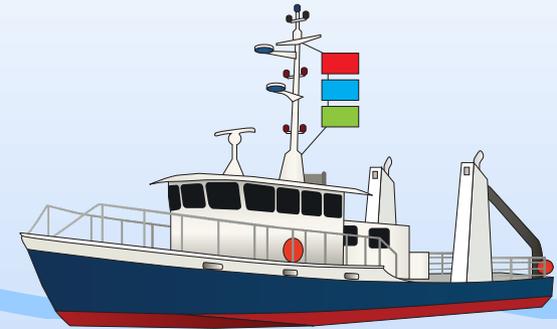
# • Comunicação subaquática por luz visível



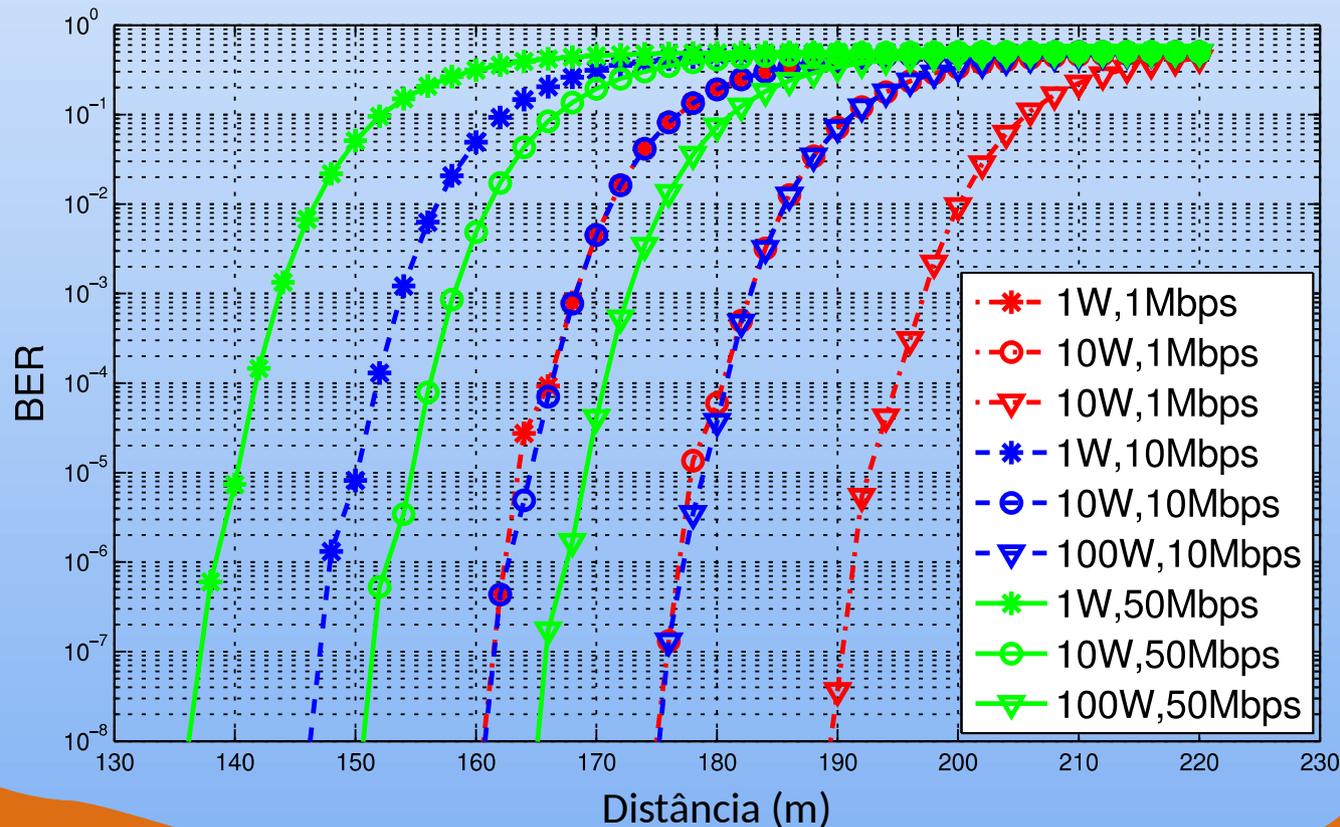
UVLC com SPAD no oceano limpo ( $\phi = 5^\circ$  e  $\psi = 30^\circ$ )



# • Comunicação subaquática por luz visível

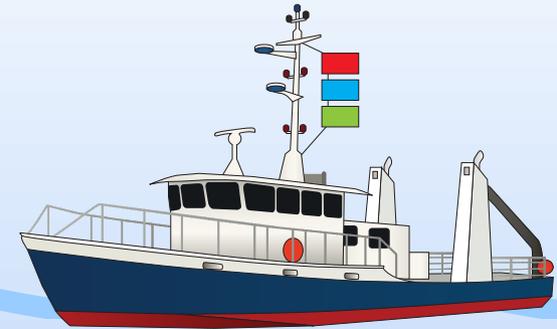


UVLC com SPAD no oceano limpo ( $\phi = 10^\circ$  e  $\psi = 10^\circ$ )

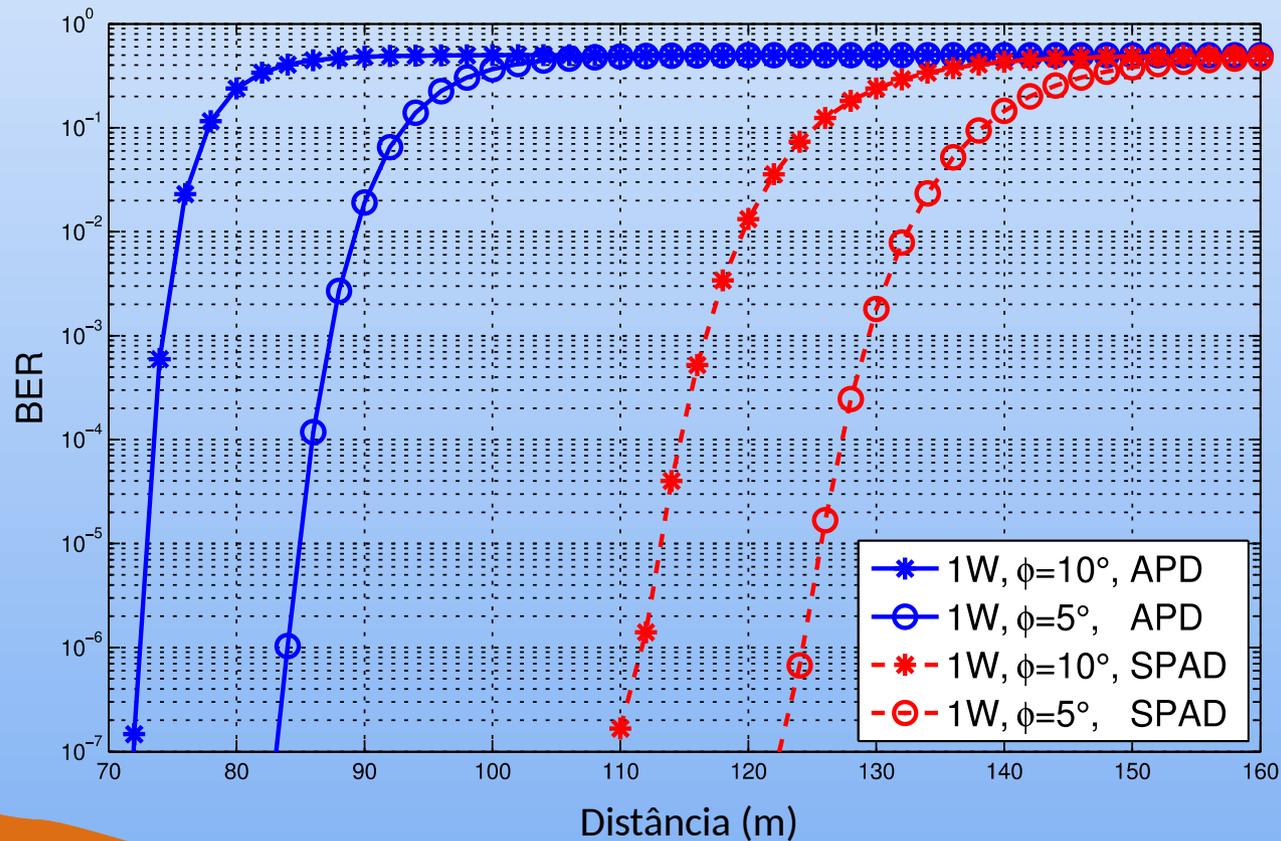




# • Comunicação subaquática por luz visível



UVLC com SPAD e APD no oceano limpo (100 Mbps)





**INSTITUTO  
FEDERAL**  
Santa Catarina

Câmpus  
São José

---

# Sistema de Comunicação Subaquática de Longa Distância por Luz Visível com Díodo de Avalanche de Fóton Único

---

Curso: Engenharia de Telecomunicações  
Disciplina: MTG29007 – Meios de Transmissão Guiados  
Professora: Evanaska Maria Barbosa Nogueira

Aluno

João Pedro Menegali Salvan Bitencourt