

# **ANÁLISE DA DINÂMICA OCEÂNICA E PROLIFERAÇÃO DE ALGAS: CAUSAS E EFEITOS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NA CORRENTE MARINHA DA COSTA ANGOLANA**

**ANALYSIS OF OCEAN DYNAMICS AND ALGAL BLOOMS: CAUSES AND EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON THE MARINE CURRENT OFF THE ANGOLAN COAST**

**ANÁLISIS DE LA DINÁMICA OCEÁNICA Y DE LA PROLIFERACIÓN DE ALGAS: CAUSAS Y EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CORRIENTE MARINA FRENTE A LAS COSTAS DE ANGOLA**

**ANALYSE DE LA DYNAMIQUE OCÉANIQUE ET DE LA PROLIFÉRATION D'ALGUES: CAUSES ET EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LE COURANT MARIN DEVANT LES CÔTES DE L'ANGOLA**

Khokhy Sefo Maria Barros<sup>1</sup>

José Tito Morais<sup>2</sup>

António Estevão Costa Messias<sup>3</sup>

Zulmira da Silva António Anato<sup>4</sup>

---

1 Engenheiro Geógrafo, Docente, Instituto Superior Politécnico de Ndalatando, Angola. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7487-9631>. E-mail: [sefobarros@gmail.com](mailto:sefobarros@gmail.com).

2 Geólogo, Docente, Faculdade de Ciências Naturais-UAN, Angola. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8049-9869>. E-mail: [josetitomorais@hotmail.com](mailto:josetitomorais@hotmail.com).

3 Geofísico, Docente, Faculdade de Ciências Naturais-UAN, Angola. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5008-6389>. E-mail: [ady\\_messias@hotmail.com](mailto:ady_messias@hotmail.com).

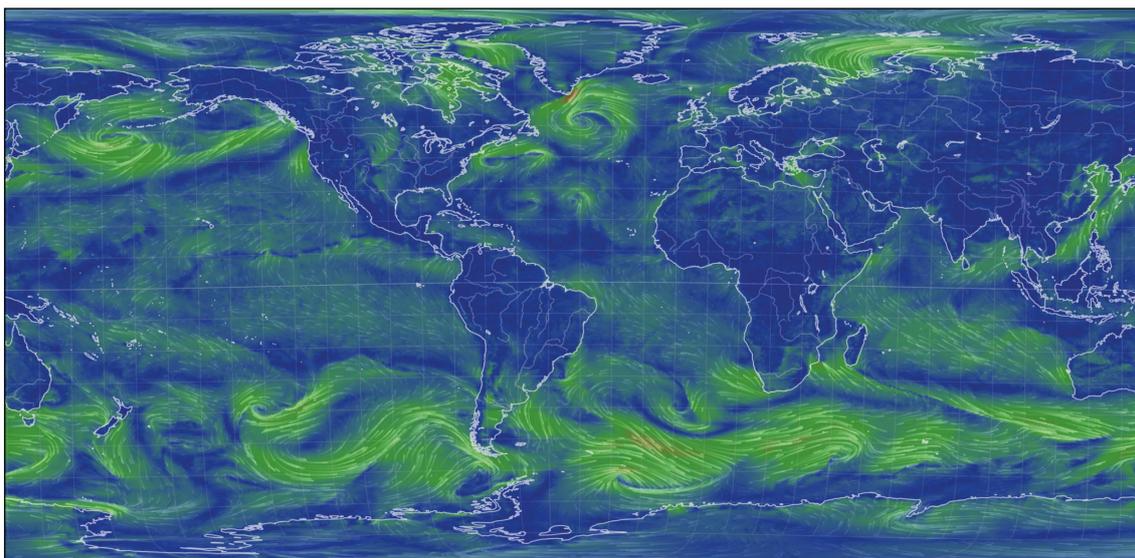
4 Bióloga, Técnica Ambiental, Licenciada em Biologia pela UAN-ANGOLA, Especialista em Botânica. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5682-862X>. E-mail: [zzulmiraanato@gmail.com](mailto:zzulmiraanato@gmail.com).

## Introdução

Os fenômenos naturais, como correntes oceânicas, processos de afloramento e mudanças sazonais na temperatura da água, têm sido historicamente fundamentais para o funcionamento dos ecossistemas marinhos. No entanto, com o avanço das actividades humanas e as transformações ambientais associadas ao aquecimento global, esses processos têm sofrido alterações significativas. As florações de algas nocivas (FANs) são um exemplo claro de como a interação entre factores naturais e antrópicos pode alterar a dinâmica ecológica de ambientes costeiros e marinhos. As FANs, que anteriormente ocorriam de forma esporádica e controlada por processos ecológicos naturais, agora são observadas com maior frequência e intensidade, trazendo sérios impactos ambientais e socioeconômicos (Hallegraeff, 2010).

O aumento das FANs está directamente relacionado ao fenómeno da eutrofização, no qual grandes quantidades de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, são despejadas nos oceanos e corpos d'água. Esses nutrientes, provenientes principalmente do escoamento agrícola e industrial, funcionam como fertilizantes para as microalgas, promovendo seu crescimento descontrolado. Esse fenómeno é exacerbado pela ação humana, especialmente em regiões costeiras onde o uso intensivo de fertilizantes agrícolas e o despejo de resíduos industriais são predominantes. Consequentemente, a combinação de um ambiente rico em nutrientes e o aumento da temperatura da água cria condições ideais para que certas espécies de algas se proliferem de forma excessiva (Anderson *et al.*, 2022).

Além da eutrofização, as mudanças climáticas são um factor-chave no aumento da frequência e da gravidade das florações de algas nocivas. O aquecimento global tem causado um aumento significativo na temperatura da superfície dos oceanos, o que altera os padrões de circulação oceânica e cria condições mais favoráveis para o desenvolvimento dessas algas. A elevação da temperatura também pode prolongar a temporada de florações, resultando em eventos mais longos e potencialmente mais prejudiciais. Isso tem sido observado em várias regiões costeiras ao redor do mundo, onde as FANs se tornaram uma ameaça constante para os ecossistemas marinhos e para as comunidades que dependem desses recursos (Behrenfeld *et al.*, 2021)



Fonte: IPCC (2024).

**Figura 1.** Padrões Globais de Circulação de Ventos e o Impacto das Mudanças Climáticas. Destacando a representação dos fluxos atmosféricos e sua relevância no contexto das alterações climáticas e eventos meteorológicos extremos refletindo a conexão entre os padrões de vento global e os fenômenos climáticos intensificados devido ao aquecimento global.

Na costa de Angola, as FANs têm se intensificado, especialmente devido à combinação de factores naturais, como o afloramento da Corrente de Benguela, e as pressões antropogênicas, como o aumento da poluição por nutrientes. A Corrente de Benguela, um dos mais importantes sistemas de afloramento do mundo, traz águas frias e ricas em nutrientes das profundezas para a superfície, sustentando uma das pescarias mais produtivas da região. No entanto, essa abundância de nutrientes, em combinação com o aumento das temperaturas oceânicas e o escoamento de fertilizantes, tem contribuído para a proliferação descontrolada de algas nocivas ao longo da costa angolana (Pitcher *et al.*, 2019).

Os impactos dessas FANs são profundos e multifacetados. Em termos ecológicos, as florações de algas nocivas podem causar a morte de grandes quantidades de peixes e outros organismos marinhos, devido à depleção de oxigênio na água, fenômeno conhecido como hipóxia. Além disso, algumas espécies de algas produzem toxinas que afetam directamente a fauna marinha, contaminando peixes e mariscos e prejudicando a cadeia alimentar. Isso representa uma séria ameaça à biodiversidade marinha, com impactos em várias espécies que dependem desses ecossistemas saudáveis para sobreviver (Anderson *et al.*, 2022).

Economicamente, o impacto mais visível das FANs em Angola recai sobre o setor pesqueiro, que é uma das principais fontes de sustento para muitas comunidades costeiras. As florações de algas nocivas podem levar à interdição de áreas de pesca, devido à contaminação por toxinas marinhas, resultando em perdas econômicas significativas para pescadores e indústrias associadas. A pesca de peixes como a sardinha e o carapau, que são recursos cruciais para a economia de Angola, tem sido directamente afetada por essas

interdições, ameaçando a segurança alimentar e as fontes de renda das populações locais (Pitcher *et al.*, 2019).

O turismo costeiro também é impactado pelas florações de algas nocivas, uma vez que a presença de algas em grandes quantidades pode tornar as águas impróprias para banhistas e outras actividades recreativas. Em regiões de Angola que estão tentando desenvolver o turismo como uma fonte alternativa de receita, as FANs representam uma barreira significativa para o crescimento do setor (Anderson *et al.*, 2022).

Nos últimos anos, os avanços tecnológicos têm permitido um melhor monitoramento e entendimento das FANs. O uso de sensoriamento remoto, através de satélites, tem sido crucial para acompanhar a extensão e a intensidade das florações de algas em tempo real. Dados de satélite, como os coletados por sensores MODIS e Sentinel-3, permitem identificar mudanças na concentração de clorofila-a na água, um indicador da presença de fitoplâncton. Isso possibilita uma melhor previsão e resposta aos eventos de FANs, permitindo que governos e gestores ambientais tomem medidas preventivas para mitigar os impactos (Behrenfeld *et al.*, 2021).

A resposta governamental às FANs em Angola, entretanto, ainda enfrenta desafios significativos. Embora o monitoramento por satélite e estudos científicos tenham melhorado a compreensão do fenômeno, a implementação de políticas eficazes de mitigação e controle das florações continua sendo um desafio.

Recentemente agora em setembro de 2024, a costa de Angola foi novamente afetada por um grande surto de florações de algas nocivas (FANs), que rapidamente viralizou nas redes sociais devido à visível deterioração das águas costeiras e ao impacto na vida marinha. Imagens e vídeos mostrando extensas áreas de água esverdeada, geraram uma onda de preocupação pública e críticas sobre a resposta governamental ao fenômeno.



Fonte: Redes sociais (2024).

**Figura 2.** FANs encontrados na costa de litoral da Província de Luanda, a) Cais da Cimangola; b) Zona da Praia Amélia.

Apesar dos avanços em monitoramento por satélite e dos esforços científicos para compreender as FANs ao longo da última década, a resposta governamental à crise recente foi considerada insuficiente para prevenir a escalada do problema. Embora os dados de sensoriamento remoto já indicassem o aumento da temperatura da superfície do mar e as condições oceânicas favoráveis à proliferação de algas, faltaram ações eficazes para mitigar os impactos antes que o fenômeno atingisse proporções alarmantes. Esse evento ressaltou a importância de políticas de gestão ambiental mais integradas e a necessidade de respostas rápidas para evitar danos maiores à biodiversidade e à economia local.

O objectivo deste estudo é analisar o fenômeno das FANs de forma espacial e temporal ao longo dos últimos 10 anos na costa de Angola com enfoco no último fenómeno que decorreu em setembro de 2024. Para tal, o estudo teve como base os dados de sensoriamento remoto disponibilizados pelas plataformas digitais e manipulados com as ferramentas de geoprocessamento aplicada, este estudo busca mapear identificadores de factores que contribuem para a intensificação das florações, e entender como as mudanças climáticas e os factores antrópicos estão interagindo para aumentar a frequência desses eventos. Ao compreender as tendências espaciais e temporais, espera-se que este estudo contribua para o desenvolvimento de estratégias de mitigação mais eficazes e para uma gestão ambiental sustentável da região.

### **Caracterização biológica das algas nocivas**

O plâncton refere-se ao conjunto de organismos que não possui movimentos próprios, e que derivam passivamente no ambiente aquático (Ré, 2005). O fitoplâncton e o zooplâncton correspondem as plantas e aos animais do plâncton respectivamente, vitais na cadeia trófica de ambientes marinhos, estuarinos e de água doce (Iain; David, 2009).

A abundância de plâncton depende de uma variedade de factores, incluindo: correntes oceânicas, temperatura, disponibilidade de nutrientes, quantidade de luz solar e profundidade do oceano (Beaugrand, 2015). A proliferação de plâncton e algas pode fornecer indicações de nutrientes e níveis de poluição potencial, de fontes como o escoamento terrestre e poluição difusa. A distribuição do plâncton e as relações entre a variação sazonal e a densidade ao largo da costa de Angola não são bem compreendidas (Longhurst, 1998).

O ecossistema marinho angolano constitui um importante centro de biodiversidade marinha e de biomassa de diversos grupos (Sardinha, 2000). Em geral a orla costeira é caracterizada por uma alta produtividade biológica (Angola, 2018). Dentre as quais, incluem-se as algas, fornecendo uma gama de bens e serviços ecossistémicos as demais formas de vidas presentes nos oceanos e não só, por outra podendo causar um certo desequilíbrio acentuado em torno da orla costeira (no caso de algas nocivas).

As algas são organismos fotossintetizantes simples, que vivem predominantemente em ambientes aquáticos, tanto de água doce como salgada. Elas variam em tamanhos de

formas microscópicas chamadas microalgas, até grandes as chamadas algas macroscópicas. As microalgas são microrganismos unicelulares que podem ser procariontes, pois não apresentam núcleo individualizado, estas espécies são classificadas como cianobactérias. As microalgas também podem ser eucariontes, ou seja, apresentam estrutura celular com núcleo individualizado (Bicudo; Menezes, 2010).

As algas nocivas, comumente chamadas de florescimentos algas nocivas (FANs), são assim tratadas, devido a capacidade de proliferação descontroladas que geralmente geram impactos negativos ao ambiente, a saúde humana e a economia.

Os grupos fitoplanctónicos mais abundantes ao longo da orla costeira incluem diatomáceas, dinoflagelados e flagelados (Neto *et al.*, 2005). Segundo Silva (2003), as *diatomáceas* são os grupos mais abundantes nas regiões norte e centro, com 62% e 54% em relação à toda a comunidade, respectivamente, e o segundo grupo mais dominante são os flagelados, 22% no Norte e 28% no Centro. Coelho, 2007 também indica as *diatomáceas* como sendo as mais abundantes na zona Norte, na qual também estão incluídas no vasto grupo das algas nocivas. As FANs que ocorrem em determinadas regiões do mundo, encontram-se os principais grupos e géneros de algas:

**a) Dinoflagelados:** Incluem a classe mais conhecida, por causarem FANs, com muitas espécies produtoras de toxinas. A título de exemplo destacam-se: *Alexandrium spp*; *Karenia brevis*; *Dinophysis spp* e *Gymnodinium spp*;

**b) Diatomáceas:** Incluem a espécie do tipo, *Pseudonitzschia spp*;

**c) Cianobactérias (Algas Azul-esverdiadas):** Apesar de tecnicamente não serem tidas como algas verdadeiras, as cianobactérias causam florescimentos nocivos em águas doces e marinhas. Dentre as principais espécies destacam-se: *Microcystis spp*; *Anabaena spp* e *Aphanizomenon spp*;

**d) Algas Verdes:** Apesar de sua acção nociva por meio de produção de toxina ser pouco activa, ela acaba causando danos ambientes, maleáveis, dentre as espécies pioneiras deste grupo, destacam-se: *Ostrecoccus spp* e *Caulerpa taxifolia*;

**e) Algas marrons:** A este grupo inclui exclusivamente a espécie do tipo: *Sargassum spp*;

**f) Algas vermelhas:** dentre a grande variedade de algas vermelhas, algumas também podem ter impactos negativos, embora raramente causem toxinas. Como representante deste grupo, destaca-se a espécie *Noctiluca scintilans*.

De acordo com os dados da **Global Biodiversity Information Facility** (GBIF), as algas nocivas mais frequentes ou mais recorrentes em Angola destacam-se: *Alexandrium spp* (Halim, 1960); *Karenia brevis* (G.Hansen *et al.*, 2000); *Pseudonitzschia spp*, *Dinophysis spp*, (Ehrenberg, 1839) e *Noctiluca scintilans* (Kof *et al.*, 1834).

As Principais causas das FANs (florações algas nocivas) citadas na literatura são essencialmente duas, Segundo Castro (2012), causas naturais e aumento de ocorrência e abrangência geográfica das FANs associadas às actividades humanas, conforme o Quadro 1.

**Quadro 1.** Principais causas de florações de algas nocivas.

Eventos	Causas		Referências
Estimulação do crescimento das microalgas formadoras de FANs	Naturais	Eutrofização natural	Hallegraeff (2003) Variação climática natural Gilbert; Pitcher (2001); Hallegraeff (2010)
		Variação climática natural	
	Antropogénicas	Eutrofização cultural	Van Der Bergh (2002); Hallegraeff (2003); Granéli <i>et al.</i> (2008)
		Mudanças climáticas globais induzidas pelo homem	Hallegraeff (2010)
		Diminuição da circulação – confinamento de corpos de água (ex. exploração da linha de costa – Mediterrâneo)	Garcés <i>et al.</i> (2000)

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

## Metodologia

### Área de estudo

Angola, localizada na costa sudoeste da África Austral, apresenta uma extensa linha costeira de cerca de 1.650 km ao longo do Oceano Atlântico, desde a fronteira com a Namíbia ao sul até a foz do rio Congo ao norte. O litoral angolano é marcado por variações climáticas e geomorfológicas distintas, influenciadas pela Corrente Fria de Benguela, que gera um clima árido e semiárido nas regiões mais ao sul, especialmente no deserto do Namibe, e condições mais amenas e húmidas no Norte, como na província de Cabinda.

As planícies costeiras, estreitas em algumas áreas, ampliam-se em outras, com praias de areia branca e sistemas de dunas que gradualmente dão lugar aos planaltos do interior, incluindo a escarpa de Benguela e a serra da Chela. Geograficamente, Angola é limitada a norte e nordeste pela República Democrática do Congo, a leste pela Zâmbia e ao sul pela Namíbia, formando uma transição entre a África Equatorial e Austral.

Geoambientalmente, a costa de Angola é rica em ecossistemas costeiros e marinhos, incluindo mangais, estuários e zonas húmidas, que desempenham um papel crucial na manutenção da biodiversidade e no equilíbrio ecológico, abrigando espécies marinhas e terrestres de importância local e global. As bacias hidrográficas que drenam para o Atlântico, como a do rio Cuanza, influenciam directamente a dinâmica costeira, criando estuários ricos em nutrientes que sustentam as pescarias, fundamentais para as economias locais.

A diversidade geoambiental costeira de Angola também é visível nas formações rochosas de origem sedimentar, nos recifes de coral e nos ricos bancos de pesca ao largo, que atraem espécies migratórias. Esta zona costeira, que apresenta áreas de fragilidade

ambiental devido à erosão costeira, mudanças climáticas e exploração de recursos, como o petróleo e o gás, é também palco de projetos de conservação ambiental, que visam equilibrar o desenvolvimento económico com a proteção dos ecossistemas marinhos e costeiros.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

**Figura 3.** Mapa da república de Angola.

## Material e Método

O estudo realizado sobre a orla costeira de Angola, focado nos fenômenos oceânicos da Corrente de Benguela, utilizou-se uma metodologia robusta baseada em dados de sensoriamento remoto e análise temporal de 10 anos (2014-2024). O objectivo de monitorar as mudanças como nível do mar, o aquecimento das águas, a intensidade dos ventos, e a pressão atmosférica, relacionando esses factores com os impactos ecológicos e socioeconômicos na região costeira. A seguir, foram detalhados segundo os passos:

### **a) Coleta de Dados via *Earth Nullschool***

Para coletar os dados, utilizou-se a plataforma *Earth Nullschool*, que oferece dados meteorológicos e oceânicos em tempo real, extraídos de modelos numéricos como o *Global Forecast System (GFS)* e o *HYCOM (Hybrid Coordinate Ocean Model)*. Esses modelos são amplamente utilizados em estudos oceânicos e atmosféricos, como demonstrado por Hallegraeff (2010) em seu estudo sobre o impacto do aquecimento global nas florações de algas e por Pitcher *et al.* (2019), que abordaram os processos de afloramento na Corrente de Benguela.

### **b) Seleção das Variáveis**

A seleção das variáveis foi baseada em estudos anteriores que demonstram a importância de monitorar aspectos-chave da interação atmosfera-oceano para compreender as mudanças climáticas e suas consequências em regiões costeiras. As variáveis escolhidas para este estudo incluem:

- **Ventos:** Estudos como os de Nelson (1992) indicam que os ventos são responsáveis por processos de afloramento na Corrente de Benguela, onde ventos de nordeste arrastam águas superficiais, permitindo que águas profundas e ricas em nutrientes subam à superfície. Essa dinâmica não só influencia a produtividade primária, mas também regula a temperatura da superfície do mar. Portanto, monitorar a intensidade e a direção dos ventos foi essencial para entender essas interações. A camada de ventos no *Earth Nullschool* foi ajustada para analisar ventos próximos à superfície (10m) e em altitudes maiores para compreender as dinâmicas verticais e horizontais dos fluxos atmosféricos (Nelson, 1992; Pitcher *et al.*, 2019);

- **Temperatura da Superfície do Mar (TSM):** A temperatura do oceano é um indicador crucial de aquecimento global e está diretamente ligada ao aumento do nível do mar, uma vez que as águas mais quentes se expandem termicamente (Hallegraeff, 2010). A TSM foi monitorada em alta resolução, utilizando imagens diárias e semanais. Estudos de Behrenfeld *et al.* (2021) destacam a importância do monitoramento da temperatura para entender os impactos sobre a flora e fauna marinhas, e também para prever fenômenos como florações de algas nocivas (FANs);

- **Pressão Atmosférica:** A pressão atmosférica afeta diretamente os ventos e, portanto, o afloramento e a circulação das correntes marinhas. Segundo Jury e Brundrit (1992), variações na pressão atmosférica na região do Atlântico Sul podem desencadear mudanças significativas na dinâmica da Corrente de Benguela. Por isso, a pressão foi monitorada tanto ao nível do mar quanto em diferentes altitudes, utilizando dados do *Earth Nullschool*, que correlacionam essas pressões com padrões climáticos globais;

- **Subida do Nível do Mar:** A variação do nível do mar foi monitorada mensalmente em 2024, com comparação aos anos anteriores. Estudos como os de Anderson *et al.* (2022) mostram que o aumento do nível do mar está intimamente relacionado ao aquecimento das águas e à dinâmica das correntes costeiras. A camada de altura das ondas foi utilizada

para medir a variação na elevação da água ao longo da costa de Angola, identificando flutuações anômalas em certos períodos.

### **c) Frequência de Coleta**

A coleta de dados foi realizada em intervalos semanais e mensais ao longo de 10 anos, capturando variações sazonais e tendências de longo prazo. O *Earth Nullschool* permitiu a captura de dados de vento, temperatura e pressão em intervalos diários, o que foi essencial para o acompanhamento detalhado.

### **d) Processamento dos Dados**

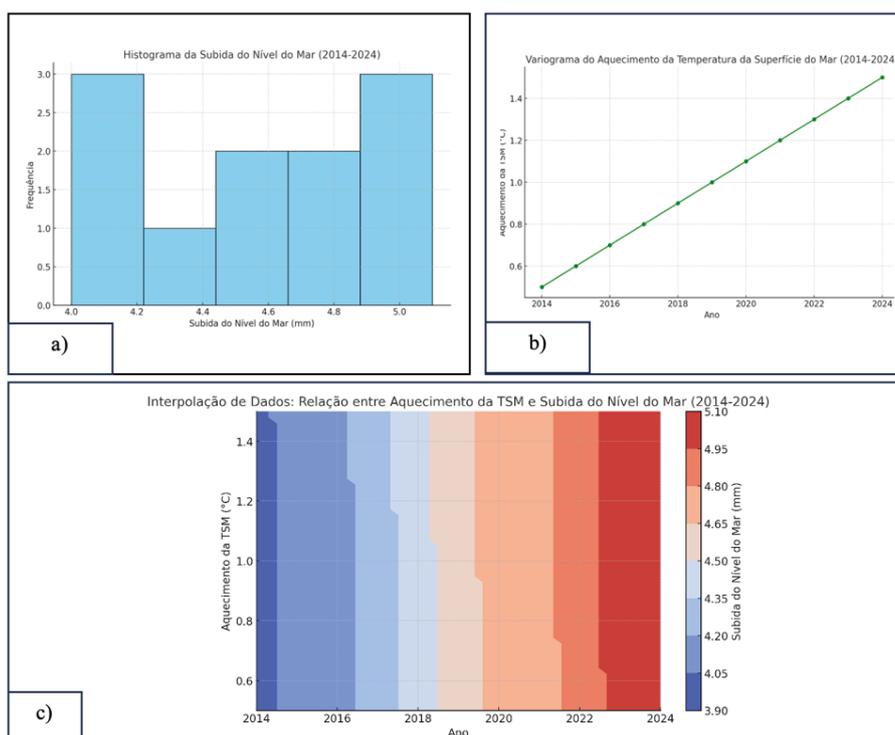
Os dados coletados foram processados usando *QGIS v3.32* e *ArcGIS 10.8.3*, para análise espacial. Esses programas permitiram a criação de mapas temáticos detalhados, que ilustraram as variações nos ventos, na TSM e no nível do mar. As seguintes etapas foram realizadas no processamento dos dados:

- **Correção Atmosférica:** Ajustei os dados para remover interferências atmosféricas, garantindo a precisão dos dados de sensoriamento remoto. A correção atmosférica é uma prática comum em estudos climáticos e foi aplicada para minimizar erros na análise de imagens de satélite (Hallegraeff, 2010);
- **Interpolação dos Dados:** Para criar superfícies contínuas e mapear os fenômenos ao longo da costa, utilizei métodos de interpolação, como o *Krigagem*. Essa técnica permitiu preencher lacunas nos dados temporais e espaciais, fornecendo uma visão detalhada de como as variáveis variaram ao longo dos 10 anos (Nelson, 1992).

### **e) Análise Temporal e Estatística.**

A análise temporal foi realizada por meio da criação de gráficos de linha e barras, que compararam as variações nas variáveis ao longo dos últimos 10 anos. No Gráfico 1 é possível constatar a variação do aumento da temperatura da superfície do mar (TSM), de 0,5°C em 2014 para 1,5°C em 2024, e uma subida do nível do mar que variou de 4,1 mm em janeiro a 4,6 mm em setembro de 2024.

**Gráfico 1.** Variáveis interpretadas e modeladas, a) Histograma de subida do nível do mar; b) Variograma do aquecimento de temperatura de superfície do mar; c) Interpolação de variáveis em estudos.



Fonte: Earth Nullschool (2024). Elaborado pelos autores (2024).

Os gráficos apresentados anteriormente fornecem uma análise visual detalhada sobre o comportamento das florações de algas nocivas (FANs) na costa de Angola, focando na subida do nível do mar e no aquecimento da temperatura da superfície do mar (TSM), que são factores directamente ligados ao fenómeno das FANs.

Fazendo uma análise robusta dos factores ambientais que estão impulsionando as FANs na costa de Angola. Eles mostram como o aumento gradual da TSM e a subida do nível do mar estão criando um ambiente mais propício para o crescimento das algas, alertando para a necessidade de monitoramento contínuo e acções de mitigação para reduzir os impactos desse fenómeno.

Realizou-se uma análise de correlação utilizando o coeficiente de Pearson para examinar a relação entre a intensidade dos ventos e o aumento da TSM e do nível do mar. A análise estatística revelou correlações positivas entre o aumento da temperatura e a subida do nível do mar, como observado por Behrenfeld *et al.* (2021), demonstrando que as tendências de aquecimento global têm impacto directo na costa de Angola.

## f) Validação dos Dados

Os dados foram validados com medições locais de boias oceânicas e estações meteorológicas ao longo da costa de Angola. A validação foi crucial para confirmar a precisão das observações remotas, garantindo que os dados correspondem às condições

locais. Esta etapa seguiu o procedimento descrito por Pitcher et al. (2019), que destaca a importância da validação cruzada entre dados de satélite e medições *in situ*.

### **g) Projeções Futuras e Modelagem**

Com base nos dados analisados, utilizamos modelos preditivos para projetar tendências futuras na TSM e na subida do nível do mar. Esses modelos, baseados em regressão multivariada, indicam que, se o aquecimento continuar nas taxas observadas, haverá um aumento significativo na frequência de eventos extremos, como florações de algas nocivas (FANs), e um agravamento na subida do nível do mar, como discutido por Anderson *et al.* (2022).

A metodologia empregada, com base em sensoriamento remoto via *Earth Nullschool*, análise espacial e validação de dados *in situ*, permitiu uma análise abrangente e detalhada das mudanças oceânicas ao longo da orla costeira de Angola. A combinação dessas ferramentas e técnicas gerou uma visão profunda das dinâmicas climáticas e oceânicas da região, contribuindo para uma melhor compreensão dos impactos do aquecimento global sobre a Corrente de Benguela.

### **h) Resultados**

Os resultados obtidos ao longo dos últimos 10 anos (2014-2024) destacam a crescente ocorrência das florações de algas nocivas (FANs) na orla costeira de Angola, particularmente na área influenciada pela Corrente de Benguela. As FANs, fenômeno natural associado ao crescimento descontrolado de microalgas, têm se intensificado na região devido a uma combinação de factores climáticos, incluindo o aquecimento da superfície do mar (TSM), a intensificação dos ventos costeiros e a eutrofização das águas.

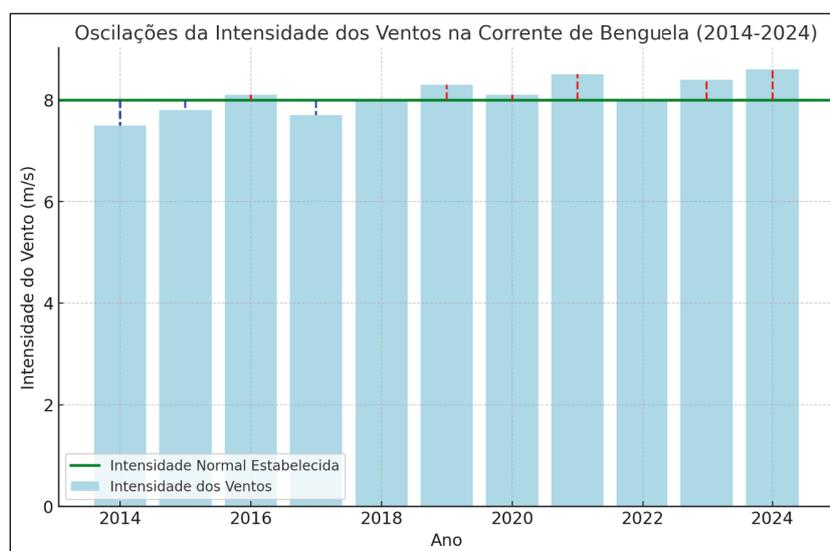
Os ventos na região da Corrente Fria de Benguela ao longo dos últimos anos revelam uma forte correlação entre a força dos ventos e os processos de afloramento que ocorrem ao longo da costa da Angola e Namíbia, predominantemente orientados para o norte, impulsionam o transporte de águas superficiais para o alto-mar, permitindo que águas mais frias e ricas em nutrientes subam à superfície. Esse fenômeno de afloramento está directamente ligado à intensidade dos ventos, que variam em ciclos e influenciam a produtividade biológica da região (como a proliferação de fitoplâncton e fauna marinha).

Nos últimos 10 anos, dados de satélites e modelos meteorológicos indicam que a força dos ventos na região da Corrente de Benguela tem apresentado variações sazonais e interanuais, com períodos de ventos mais intensos resultando em maiores pulsos de afloramento, que, por sua vez, favorecem o crescimento de algas. Esses ventos variam em intensidade e geram impulsos de afloramento em ciclos de 10 dias, um padrão observado consistentemente na região (entre 5 a 8 metros por segundo).

O Gráfico 2 destaca a intensidade média normal dos ventos na Corrente de Benguela (linha verde), proporcionando um ponto de referência para avaliar as oscilações anuais

de intensidade entre 2014 e 2024. As variações ao longo deste período são claramente ilustradas por meio de diferentes cores e linhas que indicam os desvios em relação à média estabelecida. As linhas tracejadas em vermelho representam os anos em que a intensidade dos ventos superou a normal, sugerindo períodos de maior turbulência e fluxo de ventos mais fortes na corrente. Esses aumentos na intensidade dos ventos podem estar associados a factores climáticos e oceanográficos, como alterações nos padrões de temperatura e pressão atmosférica.

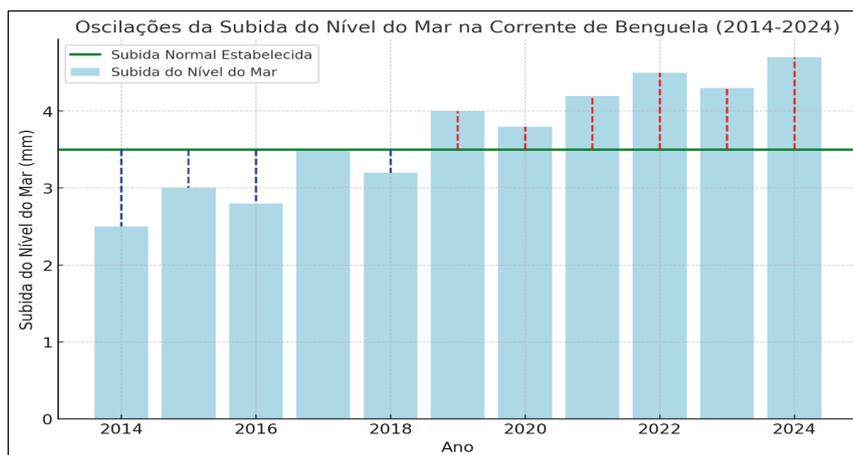
**Gráfico 2.** Oscilações da intensidade dos ventos na zona da Corrente fria de Benguela (2014-2024).



Fonte: Earth Nullschool (2024). Elaborado pelos autores (2024).

Por outro lado, as linhas tracejadas em azul indicam os anos em que a intensidade dos ventos foi inferior à média, sugerindo uma diminuição da força da corrente de Benguela nesses períodos. Esse comportamento pode ter diversas implicações, como a redução da ressurgência costeira e menor circulação de nutrientes essenciais para a vida marinha. A análise do gráfico permite, portanto, identificar facilmente os anos em que ocorreram desvios significativos, tanto para intensidades maiores quanto menores, facilitando o estudo das dinâmicas climáticas e ambientais que afetam a região ao longo dos anos.

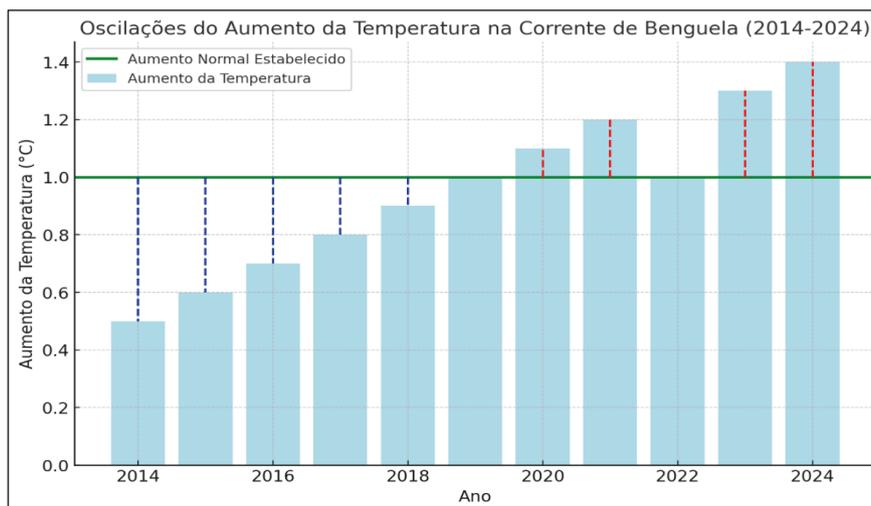
O Gráfico 3 representa as oscilações na subida do nível do mar na Corrente de Benguela entre os anos de 2014 e 2024. A linha verde centraliza-se na taxa média de aumento do nível do mar, que foi estabelecida em 3,5 mm por ano, servindo como referência para identificar as variações ao longo da década. As barras no gráfico, juntamente com as linhas tracejadas, diferenciam os anos em que o aumento do nível do mar foi superior ou inferior à média estabelecida. As barras e linhas tracejadas em vermelho, por exemplo, indicam anos em que o aumento foi maior do que o esperado, sugerindo uma aceleração na subida do nível do mar, possivelmente vinculada a fenômenos climáticos como o aquecimento global, que acelera o derretimento de geleiras e a expansão térmica dos oceanos.

**Gráfico 3.** Oscilações da subida do nível do mar na Corrente fria de Benguela (2014-2024).

Fonte: Earth Nullschool (2024). Elaborado pelos autores (2024).

Em contrapartida, as barras e linhas tracejadas em azul representam os anos em que o aumento do nível do mar ficou abaixo da média de 3,5 mm por ano, destacando períodos de variações mais moderadas ou até mesmo estabilizações momentâneas. Essas oscilações são cruciais para entender a dinâmica da Corrente de Benguela e suas implicações sobre a costa africana, onde o aumento do nível do mar pode afetar directamente as áreas costeiras, ecossistemas marinhos e comunidades humanas dependentes dessas zonas. O gráfico, portanto, proporciona uma visão clara das variações anuais e permite a identificação de padrões de anomalias que podem estar associados a factores naturais e à influência crescente das mudanças climáticas globais.

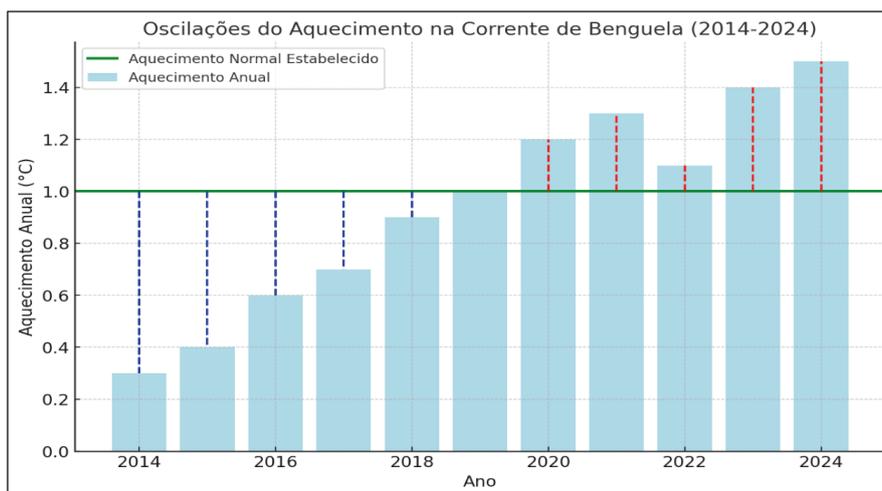
O Gráfico 4 ilustra as oscilações no aumento da temperatura média anual na Corrente de Benguela entre os anos de 2014 e 2024, oferecendo uma perspectiva detalhada sobre as variações climáticas nessa importante região oceânica. A linha verde serve como a referência de aumento normal estabelecido, que é de 1,0°C, e permite comparar as flutuações anuais de temperatura em relação a essa média. As barras que representam os diferentes anos mostram claramente as variações, com uma distinção visual entre os períodos que excederam ou ficaram abaixo dessa marca. As linhas tracejadas em vermelho destacam os anos em que o aumento da temperatura foi superior à média, sinalizando aquecimentos atípicos na região, que podem estar relacionados a fenômenos climáticos globais, como o aquecimento dos oceanos devido à intensificação do efeito estufa.

**Gráfico 4.** Oscilações do aumento da temperatura na Corrente fria de Benguela (2014-2024).

Fonte: Earth Nullschool (2024). Elaborado pelos autores (2024).

Por outro lado, as linhas tracejadas em azul representam os anos em que o aumento da temperatura foi inferior à média de  $1,0^{\circ}\text{C}$ , indicando uma taxa de aquecimento mais moderada ou estabilização temporária. Esse gráfico fornece uma visão clara das variações de temperatura ao longo dos anos, permitindo identificar os períodos mais críticos, nos quais a Corrente de Benguela sofreu alterações significativas. Tais variações têm grande impacto nos ecossistemas marinhos e podem influenciar a biodiversidade da região, a produtividade das pescas e os padrões climáticos locais. A análise dessas flutuações é essencial para entender a relação entre o aumento das temperaturas e os processos oceânicos, especialmente em uma área de ressurgência como a Corrente de Benguela, que desempenha um papel crucial no equilíbrio climático e ecológico da costa sudoeste africana.

O Gráfico 5 reflete as oscilações do aquecimento anual médio na Corrente de Benguela entre os anos de 2014 e 2024, fornecendo uma análise detalhada das variações de temperatura em uma das regiões oceânicas mais importantes da costa africana. A linha verde estabelece um ponto de referência para o aquecimento normal, fixado em  $1,0^{\circ}\text{C}$ , permitindo uma comparação com os dados anuais ao longo do período analisado. As barras ilustram as variações em relação a esse valor, oferecendo uma visão clara das diferenças anuais de aquecimento. As linhas tracejadas em vermelho indicam os anos em que o aquecimento excedeu essa média, sugerindo períodos de aquecimento mais acentuado, possivelmente relacionados a factores como o aumento das emissões de gases de efeito estufa, que têm contribuído para o aquecimento global e, conseqüentemente, para o aumento da temperatura nos oceanos.

**Gráfico 5.** Oscilações do aquecimento da Corrente fria de Benguela (2014-2024).

Fonte: Earth Nullschool (2024). Elaborado pelos autores (2024).

Por outro lado, as linhas tracejadas em azul representam os anos em que o aquecimento foi inferior ao valor de referência, sugerindo uma desaceleração temporária do aquecimento ou, em alguns casos, possíveis eventos naturais, como a influência de correntes frias ou ressurgências mais intensas. Ao longo dos anos, as flutuações no aquecimento da Corrente de Benguela podem ter impactos significativos nos ecossistemas marinhos, afetando desde os ciclos de nutrientes até a biodiversidade marinha. Este gráfico permite, portanto, uma visualização clara e comparativa das tendências de aquecimento ao longo do tempo, destacando como a variabilidade anual pode estar relacionada a factores tanto locais quanto globais, como as mudanças climáticas e os fenómenos oceânicos que influenciam essa corrente vital. Assim, essas oscilações são essenciais para entender os desafios climáticos enfrentados na região e suas implicações ecológicas e económicas.

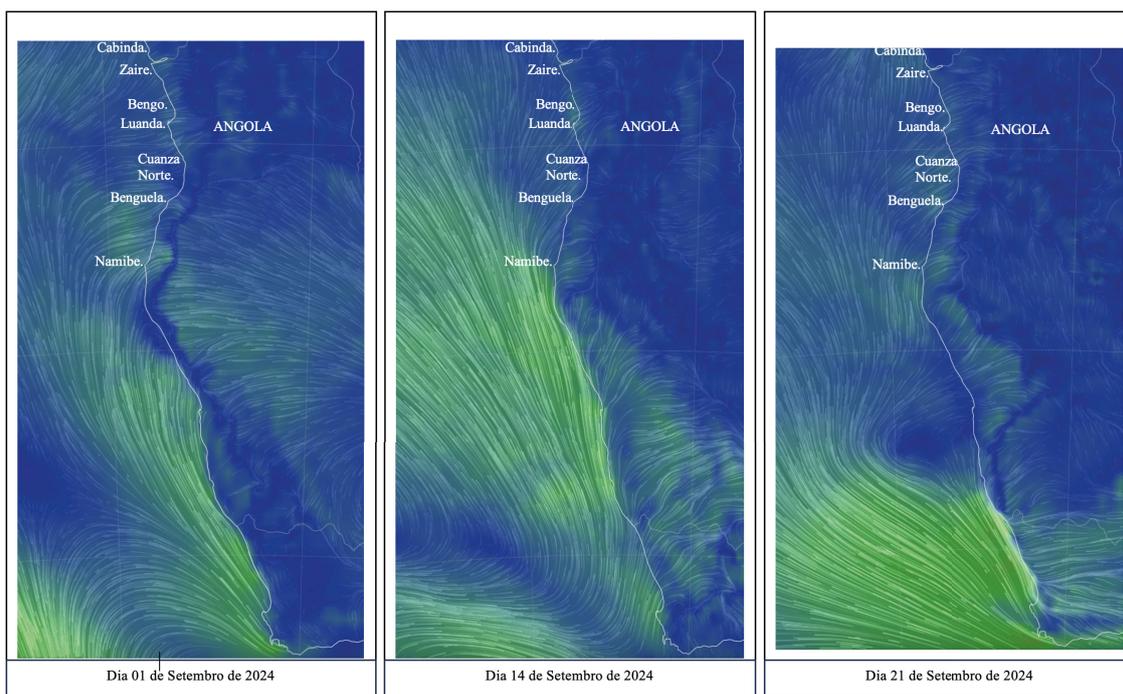
### Surto de Florações de Algas Nocivas (FANs) em setembro de 2024 na costa angolana

Em setembro de 2024 foi registrado um significativo surto de florações de algas nocivas (FANs) ao longo da costa de Angola, cujos impactos foram amplamente observados e documentados tanto pela comunidade científica quanto pelas redes sociais. Este evento natural destacou-se pela intensidade da proliferação de microalgas, que resultou em mudanças visíveis nas águas costeiras, especialmente em áreas de maior actividade pesqueira. As águas se tornaram esverdeadas e espessas, características típicas das florações de algas, e o fenómeno foi acompanhado por uma mortalidade significativa de peixes e outros organismos marinhos, afetando directamente as economias locais dependentes da pesca e do turismo.

As análises indicaram que a principal causa desse surto foi o aumento da temperatura da superfície do mar (TSM), que atingiu valores recordes para o mês de setembro. O aquecimento das águas, medido em 1,5°C acima da média histórica, foi um factor determinante para a proliferação das algas. Esse aumento de temperatura, combinado com a intensificação dos

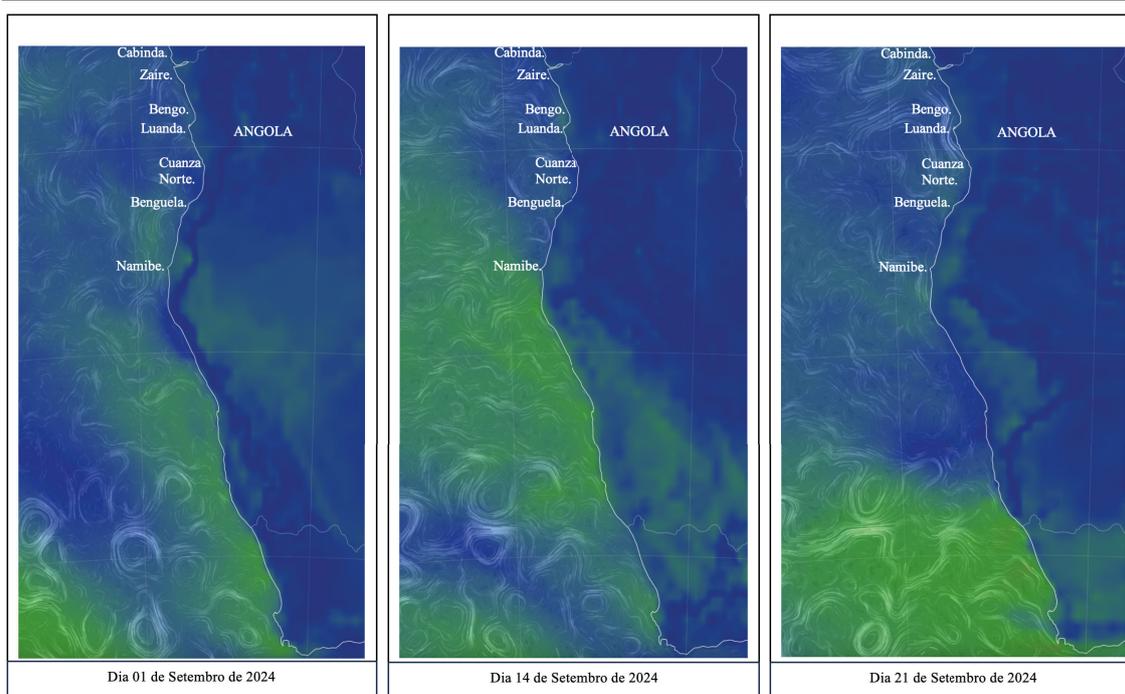
ventos costeiros ao longo dos meses anteriores, criou as condições ideais para o crescimento descontrolado das microalgas. Além disso, o acúmulo de nutrientes nas águas costeiras, proveniente de escoamentos agrícolas e industriais, exacerbou o fenômeno, resultando em um episódio de eutrofização que favoreceu ainda mais o desenvolvimento das FANs.

Os dados coletados durante o surto de florações de algas nocivas (FANs) em setembro de 2024, indicaram não apenas um aumento na temperatura da superfície do mar, mas também uma intensificação significativa na aceleração do movimento das correntes e ondas ao longo da costa de Angola.



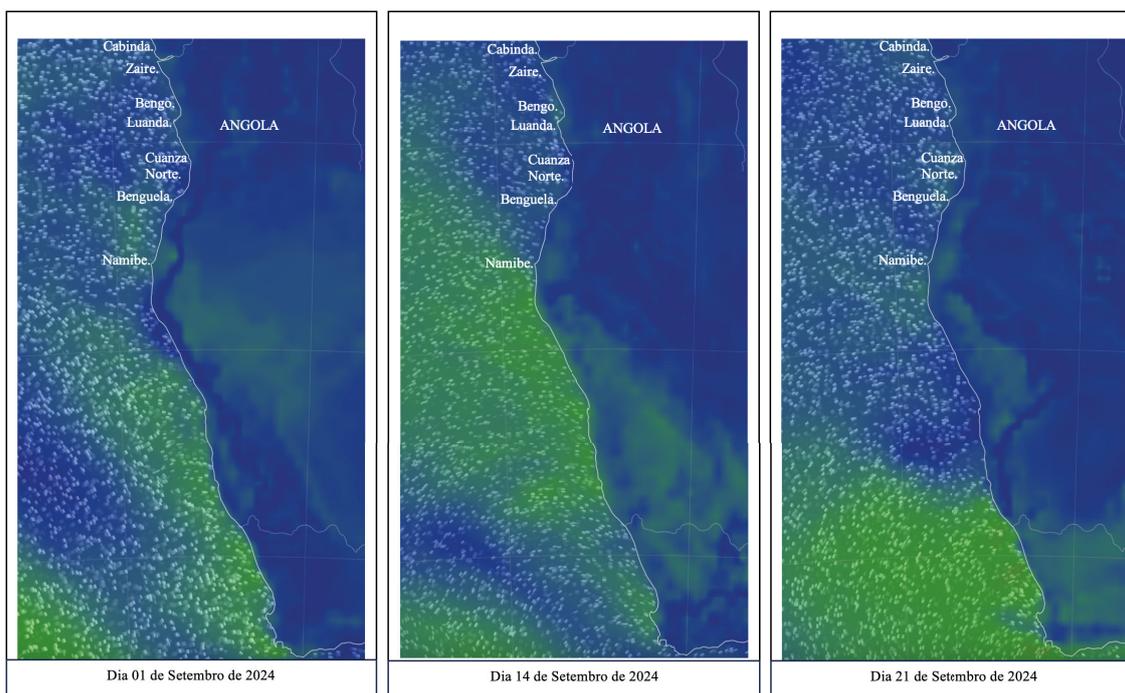
Fonte: Earth Nullschool (2024). Elaborado pelos autores (2024).

**Figura 4.** Ocorrência de ventos da corrente fria de Benguela ao longo.



Fonte: Earth Nullschool (2024). Elaborado pelos autores (2024).

**Figura 5.** Ocorrência de movimento das correntes marítimas da corrente.



Fonte: Earth Nullschool (2024). Elaborado pelos autores (2024).

**Figura 6.** Ocorrência de movimento das ondas marítimas da corrente fria.

As imagens temporárias fornecidas retratam diferentes aspectos da dinâmica oceânica e atmosférica ao longo da costa de Angola, com dados coletados nos dias 1, 14 e 21 de setembro de 2024. Essas imagens oferecem uma visão clara sobre o comportamento

dos ventos, das correntes marítimas e das ondas oceânicas em um curto intervalo temporal, permitindo uma análise detalhada das variações que ocorrem na região, especialmente na Corrente de Benguela, uma das correntes oceânicas mais importantes do Atlântico Sul.

### **Movimento dos ventos (1, 14 e 21 de setembro de 2024)**

Na Figura 4 as imagens focam no movimento dos ventos ao longo da costa de Angola, um factor crucial na modulação climática da região. No dia 1 de setembro, os ventos parecem estar mais concentrados ao longo da costa, com fluxo contínuo vindo do Atlântico em direção à terra. Já no dia 14, observamos um fortalecimento dos ventos, possivelmente associado à intensificação das correntes de jato e à ressurgência de águas frias que caracterizam a Corrente de Benguela. No dia 21 de setembro, há um padrão de vento ligeiramente mais disperso, com menos intensidade em algumas áreas, o que pode sugerir uma transição sazonal ou a influência de um sistema de alta pressão se estabelecendo sobre a região.

### **Movimento das correntes marítimas (1, 14 e 21 de setembro de 2024)**

Na Figura 5 as imagens seguintes retratam o comportamento das correntes marítimas ao longo do mesmo período. A Corrente de Benguela é visivelmente ativa, transportando águas frias do sul em direção ao norte. Em 1 de setembro, as correntes parecem fortes e bem direcionadas ao longo da costa. No entanto, em 14 de setembro, observamos uma intensificação na força das correntes, o que pode indicar uma ressurgência mais pronunciada, que traz águas ricas em nutrientes das profundezas oceânicas para a superfície. No dia 21, a corrente parece mais estável, embora ainda significativa, o que sugere um regime persistente de circulação fria, vital para a biodiversidade marinha da região. Essas variações ao longo do mês indicam mudanças sutis na intensidade e na direção das correntes, influenciadas tanto pelos ventos quanto pelas condições oceânicas globais.

### **Movimento das ondas (1, 14 e 21 de setembro de 2024)**

Na Figura 6 as imagens analisam o movimento das ondas no oceano, que reflete a interação entre os ventos de superfície e as correntes oceânicas. No dia 1 de setembro, as ondas parecem relativamente moderadas, coerentes com os padrões de vento e corrente do período. Entretanto, no dia 14, observamos uma intensificação significativa no tamanho e na força das ondas, coincidindo com o aumento na intensidade dos ventos e das correntes marinhas. Esse padrão é típico em situações de ressurgência, quando ventos mais fortes elevam a superfície do oceano e produzem ondas maiores. No dia 21 de setembro, o movimento das ondas parece ter voltado a um estado mais calmo, embora ainda reflita as influências da dinâmica dos ventos e das correntes.

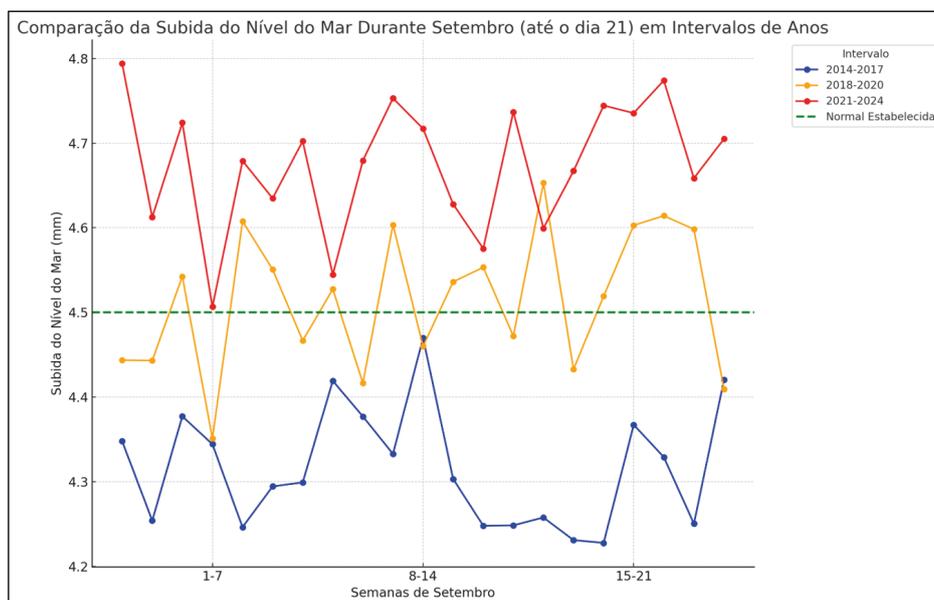
Essas imagens mostram claramente a interconexão entre os ventos, as correntes marítimas e o movimento das ondas na costa de Angola. Durante setembro de 2024,

houve variações significativas nessas três esferas, com picos de actividade nos dias 14, sugerindo uma intensificação sazonal dos fenómenos climáticos, potencialmente associada à influência da Corrente de Benguela e ao deslocamento de sistemas atmosféricos. As ressurgências e o fortalecimento das correntes frias são essenciais para o ecossistema da região, sustentando a biodiversidade e influenciando a produtividade pesqueira. Além disso, o padrão de ondas pode ter impactos diretos sobre as zonas costeiras, influenciando a erosão e as actividades humanas dependentes do mar.

Essas variações, observadas ao longo de apenas 21 dias, são indicativas de como o clima e o ambiente oceânico de Angola podem ser dinâmicos e sensíveis a factores tanto locais quanto globais, como mudanças climáticas e variações sazonais.

O Gráfico 6 mostra o comparativo da subida do nível do mar durante os dias de Setembro (até o dia 21) nos anos de 2014 a 2024, revela uma tendência crescente e significativa no comportamento das correntes oceânicas e do nível do mar na Corrente fria de Benguela. Essa aceleração na elevação do nível do mar observada especialmente em 2024 é um indicativo claro do impacto das mudanças climáticas globais e de como essas alterações estão potencializando fenómenos como as florações de algas nocivas (FANs).

**Gráfico 6.** Subida do nível médio do mar durante o mês de Setembro dos anos de 2014-2024.



Fonte: Earth Nullschool (2024). Elaborado pelos autores (2024).

Em 2024, a elevação do nível do mar foi consideravelmente mais alta quando comparada com os anos de 2014 e 2023, com os valores variando entre 4,5 mm e 5,1 mm. Essa tendência não apenas sugere uma maior capacidade das correntes oceânicas de transportar nutrientes das camadas mais profundas para a superfície, mas também reflete as condições ideais para a proliferação das algas nocivas. O aquecimento da temperatura da superfície do mar (TSM), que também foi registrado em valores recordes nesse período, exacerba essa situação, uma vez

que as águas mais quentes, combinadas com a movimentação acelerada das correntes, criam um ambiente favorável para o crescimento descontrolado das microalgas.

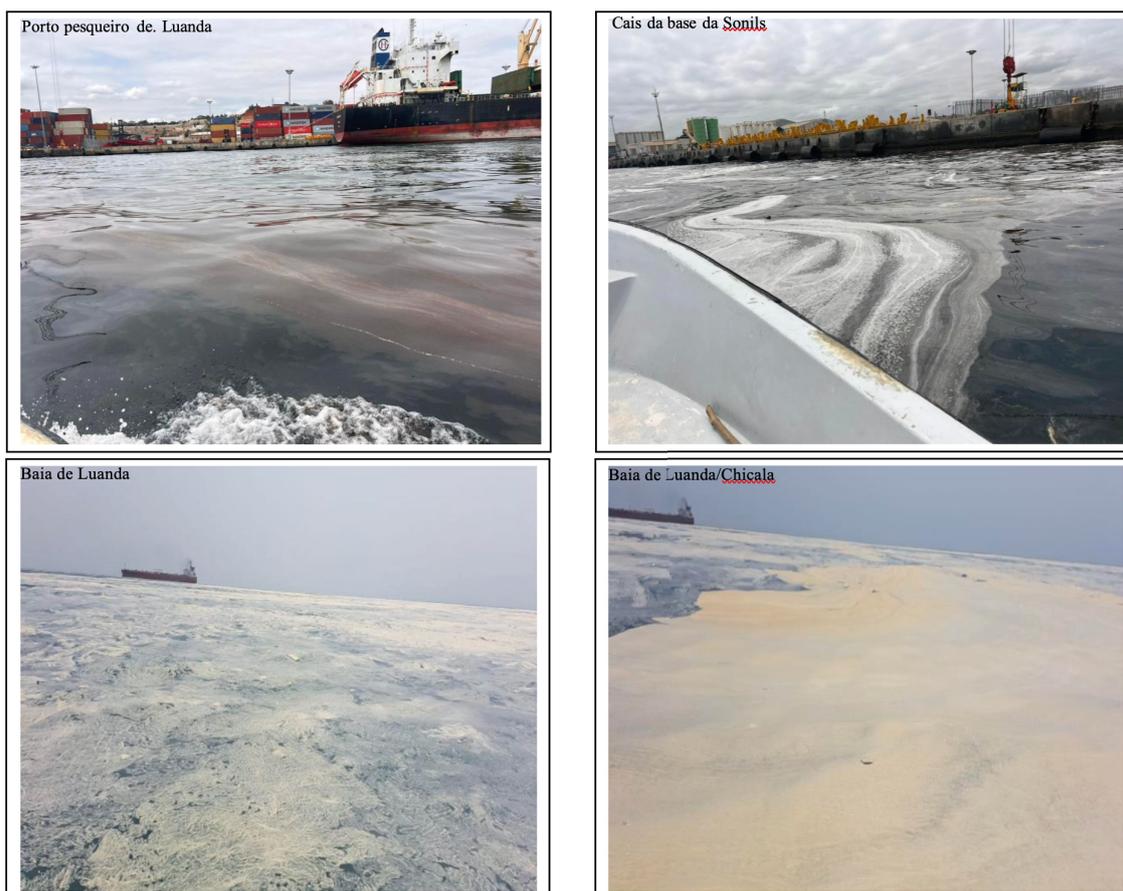
A relação entre a subida do nível do mar e as FANs é direta, pois a maior movimentação das águas permite uma maior mistura vertical e a redistribuição de nutrientes nas zonas costeiras, proporcionando o combustível necessário para o desenvolvimento dessas florações. Esse processo, amplificado pelo aumento da TSM, tem sido uma característica comum dos últimos três anos, com cada período de setembro registrando valores mais altos de elevação do nível do mar. No entanto, o ano de 2024 se destaca como um ponto de inflexão, sugerindo que estamos diante de um cenário onde as alterações climáticas globais estão acelerando o impacto desses fenômenos naturais.

A discussão global sobre as mudanças climáticas aponta para um aumento contínuo da temperatura média dos oceanos e o consequente derretimento das calotas polares, factores que contribuem directamente para a subida global do nível do mar. Esse efeito é especialmente grave em regiões como a costa de Angola, onde a Corrente de Benguela desempenha um papel vital no regime de afloramento. As mudanças na dinâmica dessas correntes, exacerbadas pelo aquecimento global, estão criando uma nova realidade ecológica em que eventos como as FANs se tornam mais frequentes e intensos.

Portanto, o aumento da subida do nível do mar observado no gráfico não deve ser visto isoladamente, mas como parte de um fenómeno global mais amplo. As mudanças climáticas estão modificando profundamente os padrões oceânicos, e eventos como as FANs são apenas uma das consequências visíveis dessas transformações. Essa tendência de aquecimento contínuo e aceleração das correntes oceânicas deve ser monitorada de forma mais rigorosa, especialmente porque esses fenômenos estão afetando a biodiversidade, a economia costeira e, no longo prazo, a sustentabilidade das comunidades locais que dependem dos recursos marinhos.

Os ventos mais fortes registrados nos meses anteriores contribuíram para o aumento da velocidade das correntes oceânicas, o que, por sua vez, intensificou o processo de afloramento. Esse afloramento trouxe águas ricas em nutrientes das camadas mais profundas para a superfície, criando um ambiente ideal para o crescimento descontrolado das algas. Além disso, a aceleração das ondas facilitou a mistura vertical das águas, permitindo que as algas fossem transportadas para diversas regiões ao longo da costa, aumentando a área impactada pelo surto de FANs.

Durante o mês de setembro, os dados de sensoriamento remoto e monitoramento de satélites indicaram uma média de aceleração nas correntes costeiras superior aos valores usuais registrados para a região. Essa intensificação das correntes oceânicas, combinada com o aumento da temperatura da superfície do mar, formou um cenário propício para a proliferação de algas em grande escala, com as florações se espalhando rapidamente pelas zonas costeiras. Esse aumento no movimento das águas também contribuiu para a redistribuição dos nutrientes, que atuaram como combustível para o rápido crescimento das microalgas, exacerbando o impacto ecológico e econômico causado pelas FANs.



Fonte: Rede sociais (2024).

**Figura 7.** Fenômeno FANs ocorrido em Setembro de 2024 na Costa Marítima de Angola em 2024.

## Conclusão

O presente estudo analisou as florações de algas nocivas (FANs) que ocorreram na costa de Angola em setembro de 2024, destacando os factores ambientais e climáticos que contribuíram para a intensificação deste fenómeno. A análise ao longo dos últimos 10 anos permitiu observar um padrão crescente de proliferação de FANs, directamente relacionado ao aquecimento global e à subsequente alteração das dinâmicas oceânicas na região. Este evento específico, que afetou gravemente o ecossistema marinho e actividades económicas costeiras, serviu como um exemplo claro dos impactos dessas mudanças climáticas sobre a Corrente de Benguela. Este estudo revelou que os principais factores por trás deste surto foram o aquecimento contínuo da temperatura da superfície do mar (TSM), a subida acelerada do nível do mar e a intensificação das correntes oceânicas. Os dados de sensoriamento remoto e as análises espaciais e temporais mostraram que o mês de setembro de 2024 apresentou um nível recorde de TSM, favorecendo a proliferação das microalgas. Ao mesmo tempo, a aceleração das correntes oceânicas, exacerbada pelos ventos fortes, dispersou os nutrientes que alimentam essas algas, criando as condições ideais para o surgimento das FANs.

Este trabalho identificou que as mudanças climáticas são o principal motor dessas alterações, com o aumento global da temperatura dos oceanos e a eutrofização das águas costeiras acelerando a ocorrência de fenômenos como as FANs. A pesquisa também reforça que, apesar dos avanços no monitoramento e na compreensão desses eventos, ainda existem lacunas na mitigação e no controle dessas florações, como mostrado pela insuficiência das políticas ambientais para prevenir ou reduzir o impacto deste surto em setembro. Embora o estudo tenha fornecido uma análise detalhada e clara da relação entre as variáveis climáticas e as FANs, algumas limitações foram identificadas. A escassez de dados *in situ* em certos períodos e a dependência de dados de sensoriamento remoto podem ter restringido a precisão de algumas projeções. Além disso, a complexidade dos processos oceânicos e suas interações com factores antrópicos locais exigem abordagens mais integradas no futuro.

No entanto, os resultados apresentados aqui oferecem uma contribuição importante para a compreensão dos impactos das FANs na costa de Angola, realçando a urgência de acções preventivas e políticas públicas que enfrentem não só os efeitos imediatos, mas também os factores subjacentes ligados às alterações climáticas.

## Referências

- ANDERSON, D. M.; CEMBELLA, A. D.; HALLEGRAEFF, G. M. Progress in understanding harmful algal blooms: paradigm shifts and new technologies for research, monitoring, and management. **Review of Marine Science**, v. 14, p. 35-67, 2022.
- BEAUGRAND, G. **Marine biodiversity: Climatic Variability and Global Change**, London: Routledge, Oceans Editor, 2015, 474 pp.
- BEHRENFELD, M. J.; O'MALLEY, R. T.; SIEGEL, D. A.; BOSS, E. Satellite-detected fluorescence reveals global physiology of ocean phytoplankton. **Nature**, v. 500, n. 7462, p. 341-345, 2021.
- Coelho, P. A. de S. **Caracterização e distribuição do fitoplâncton na zona norte da costa angolana em Agosto de 2002**. Trabalho de conclusão de curso (Biologia). Universidade Agostinho Neto, Luanda, 59pp.
- HALLEGRAEFF, GUSTAAF M. Ocean climate change, phytoplankton community responses, and harmful algal blooms: a formidable predictive challenge. **Journal of Phycology**, v. 46, n. 2, p. 220-235, 2010.
- IAIN, S.; DAVID, R. **Plankton: A guide to their ecology and monitoring**, Austrália, Editora CSIRO, 2009, 256 pp.
- NATHÁLIA O. DE CASTRO; GLEYCIA DE OLIVEIRA MOSER (2012). **Florações de algas nocivas e seus efeitos ambientais**.
- NELSON, G. Equatorial wind and atmospheric pressure spectra as metrics for primary productivity in the Benguela system. **South African Journal of Marine Science**, v. 12,

p. 19-28, 1992.

NETO D. S. *et al.* Comunicação oral sobre Abundância, distribuição e taxonomia de fitoplâncton e blooms ao longo da costa angolana. **12as Jornadas Científicas e Técnicas do INIP, Luanda**, 17 e 18 de Novembro, 2005.

PITCHER, G. C.; LAMONT, T.; BERNARD, S. The Benguela upwelling system: Implications for marine pollution. **Regional Studies in Marine Science**, v. 33, p. 100875, 2019.

SILVA S. C. P. **Contribuição para estudo da comunidade fitoplanctónica na costa angolana**. Trabalho de conclusão de curso (Biologia). Faculdade de Ciências, Universidade Agostinho Neto, Luanda, 2003, 79 pp.



Rio Pacaás Novos/RO

Autor: Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental de Rondônia (SEDAM-RO)