

COLÉGIO SÃO LUÍS

ENSINO MÉDIO
CURSO DE METODOLOGIA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

Pedro De Souza Madeira

Calotas polares em degelo: Possível surgimento de doenças

“Como o derretimento das geleiras apresenta ameaças a saúde global”

Local
2025

Pedro De Souza Madeira

TÍTULO:
Subtítulo do Trabalho

Artigo apresentado como requisito de aprovação em “Metodologia de Iniciação Científica”, na 2ª série do EM do Colégio São Luís

Orientador: Prof. Evandro Cesar dos Santos

Local
2025

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar o derretimento das geleiras em perspectiva dos riscos epidemiológicos decorrentes desse fenômeno. O aquecimento global, intensificado pelas atividades humanas, tem acelerado o derretimento das calotas de gelo em diversas regiões do planeta, especialmente nas áreas polares e montanhosas. Esse processo libera microrganismos e agentes patogênicos preservados por milhares de anos no gelo, representando um potencial ameaça à saúde pública. A pesquisa busca compreender como as mudanças climáticas podem reativar vírus e bactérias antigos, bem como alterar padrões epidemiológicos em escala global. Para isso, são analisados estudos científicos recentes e relatórios ambientais que relacionam o derretimento das geleiras com o aumento de riscos biológicos. Os resultados evidenciam a necessidade de um monitoramento contínuo das regiões afetadas e de políticas sanitárias e do meio ambiente. Portanto, conclui-se que o derretimento das geleiras não é apenas um indicador climático, mas também um alerta epidemiológico.

Palavras-chave: derretimento das geleiras; vírus; mudanças climáticas.

ABSTRACT

This study aims to analyze glacier melting from the perspective of the epidemiological risks arising from this phenomenon. Global warming, intensified by human activities, has accelerated the melting of ice caps in several regions of the planet, especially in polar and mountainous areas. This process releases microorganisms and pathogenic agents preserved for thousands of years in the ice, representing a potential threat to public health. The research seeks to understand how climate change can reactivate ancient viruses and bacteria, as well as alter epidemiological patterns on a global scale. To this end, recent scientific studies and environmental reports that link glacier melting to the increase in biological risks are

analyzed. The results highlight the need for continuous monitoring of affected regions and for coordinated health and environmental policies. Therefore, it is concluded that glacier melting is not only a climatic indicator but also an epidemiological warning.

Keywords: glacier melting; virus; climate change.

Sumário

1	Introdução	6
1.2	Justificativa	11
1.3	Objetivo de Pesquisa	11
2	Mudanças Climáticas e o Degelo Polar	11
2.2	Efeito albedo	15
2.3	Aquecimento Global e Efeito Estufa	17
2.4	Pandemia e Epidemia: Entenda os termos	21
2.5	Agentes patogênicos	22
2.6	Extremófilos: vida nos extremos do planeta	24
2.7	Bacillus Anthracis	25
3	Metodologia	33
4	ANÁLISE DE DADOS/ESTATÍSTICAS	35
5	Conclusão	47

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a discussão sobre o derretimento das calotas polares de regiões árticas tem ganhado relevância devido a suas implicações no mundo em que vivemos, trazendo diversos impactos, tanto negativos, quanto positivos. Tendo isso em vista, esse trabalho irá falar sobre o impacto pandêmico e epidêmico que o degelo de áreas polares podem desencadear ao longo do tempo.

O objeto central desta pesquisa são as áreas polares, com ênfase especial na Antártica, considerada uma das regiões mais isoladas, inóspitas e sensíveis do planeta. Essas regiões extremas, localizadas nos limites geográficos da Terra, têm despertado crescente interesse científico e ambiental devido à sua vulnerabilidade às mudanças climáticas globais. A Antártica, em particular, além de ser um importante reservatório de água doce congelada, representa um verdadeiro laboratório natural para estudos sobre o clima, a biodiversidade e os impactos ambientais causados pelas ações humanas.

A pesquisa busca compreender como o acelerado processo de aquecimento global e o consequente derretimento das calotas polares afetam não apenas o equilíbrio ecológico local, mas também provocam impactos em escala global, incluindo o surgimento de possíveis riscos sanitários, como o ressurgimento de vírus e micro-organismos preservados no gelo por milênios. Dessa forma, o estudo das áreas polares torna-se essencial para avaliar as consequências do modelo de desenvolvimento humano atual e reforçar a urgência da preservação ambiental.

A metodologia adotada para a realização deste trabalho baseia-se, principalmente, em pesquisas bibliográficas e na aplicação de uma entrevista. As pesquisas bibliográficas foram realizadas por meio da análise de artigos científicos, trabalhos acadêmicos e publicações confiáveis, que contribuíram para a construção teórica do tema abordado, especialmente a respeito das mudanças climáticas e seus impactos nas regiões polares. Além disso, será feita uma entrevista com o objetivo de obter informações e uma perspectiva mais prática e atual sobre a temática, permitindo

o aprofundamento da discussão a partir de experiências ou conhecimentos específicos do entrevistado. A combinação dessas duas abordagens metodológicas pretende garantir uma análise mais ampla e crítica, articulando teoria e prática de maneira coerente.

Uma pergunta muito frequente atualmente é a respeito da presença humana nos confins globais, na qual gera uma dúvida a respeito de porque as pessoas vivem no polo Norte e o polo Sul é praticamente inóspito, na qual a única presença humana permitida é a de cientistas, pesquisadores e militares. Para compreender os motivos do porquê a moradia é acessível em um polo e restrita em outro devemos entender que o polo Sul possui temperaturas extremas e é regida por diversos tratados internacionais, que proíbem a moradia de civis no território, permitindo somente cientistas e militares. Por outro lado, o Polo Norte possui uma temperatura mais elevadas comparado a Antártica, e o espaço não possui tratados que impeçam a habitação de humanos.

Os polos norte e sul são regiões localizadas nos extremos do planeta. O polo Norte está localizado próximo ao oceano ártico, enquanto o polo Sul está situado no continente da antártica, um território extremamente frio e próximo ao Oceano Antártico. Ambos os territórios se destacam pela sua importância científica e geopolítica.

Figura 1

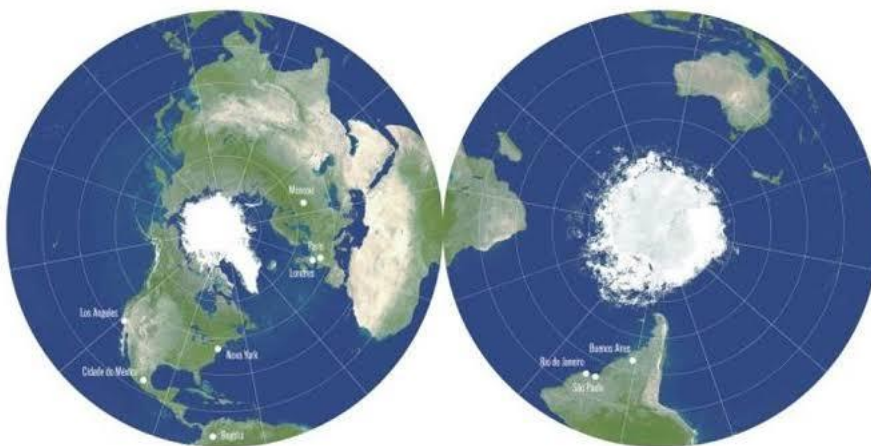


Figura 1: localização do polo norte e sul Disponível em: <https://praiaexpresso.com/2021/11/07/qual-o-mais-frio-o-polo-norte-ou-o-polo-sul/> Acessado em: 12/06/2025

O polo Norte é um espaço geográfico situado no extremo norte do planeta, muito conhecido por seus fenômenos, como o sol da meia noite e aurora boreal. Além disso o território possui diversas rotas marítimas e uma grande reserva petrolífera, chamando a atenção de algumas potências mundiais como Estados Unidos e Rússia. Devido a sua significância a região é alvo de diversos conflitos políticos e internacionais.

A Antártica é um território internacional situado no extremo sul global, reconhecida por sua vasta extensão de calotas polares e condições climáticas extremas e desafiadoras. Além de possuir temperaturas extremamente baixas e difícil acesso, o continente se destaca por sua importância científica. Sendo um centro de intensas pesquisas que tem como objetivo o funcionamento da fauna e da flora local. Além de sua relevância para o estudo das mudanças climáticas, a região abriga uma fauna adaptada a esses ambientes severos, com pinguins, focas e aves marinhas.

Considerando-se que a Antártica é um ambiente de difícil acesso, isolado, com características únicas e apenas recentemente explorado cientificamente, pode-se imaginar que é grande a possibilidade de se descobrirem novas espécies não apenas de fungos, mas também de protozoários, bactérias, arqueias e vírus (Cury, 2013, p.2)

Nos últimos anos a Antártica e outros territórios polares têm passado por processos extremamente complicados, tendo em vista que esses espaços estão vulneráveis ao aumento expressivo da temperatura, o que acelera o descongelamento e provoca a perda da biodiversidade local. Apesar desse processo parecer atual, a raiz desse problema surgiu na Revolução Industrial, que mudou a forma de como vemos o mundo e a natureza.

A Revolução industrial foi um processo que teve início no século 18 e representou um grande marco na história. Apesar de trazer grandes inovações, dentre elas, o desenvolvimento das tecnologias e a melhora na infraestrutura de forma geral, esse processo também ocasionou uma mudança problemática e permanente no meio ambiente. Como mencionado por Giacometti e Dominschek (2018) a partir da Primeira

Revolução Industrial ocorrida na Inglaterra, houve uma transformação na forma a qual se dava a relação entre sociedade e natureza, passando a inserir um novo contexto de vida para a civilização local. As transformações do meio ambiente aumentaram constantemente conforme o avanço da industrialização, gerando situações ambientais instáveis e impactantes.

Após o término da Primeira Revolução Industrial, a expansão tecnológica continuou de forma acelerada, impulsionando a criação de máquinas, fábricas e novos métodos de produção. No entanto, esse avanço trouxe um alto custo ambiental, uma vez que grande parte dessas inovações dependia da queima de carvão como principal fonte de energia, resultando na emissão massiva de gases poluentes na atmosfera. Ao longo dos anos, outras revoluções industriais seguiram o mesmo padrão: maior desenvolvimento tecnológico acompanhado de um aumento significativo na exploração de recursos naturais e na degradação ambiental, especialmente com o desmatamento e a poluição do ar e da água. Apesar desse histórico impactante, é possível observar atualmente uma crescente preocupação de algumas empresas em adotar práticas mais sustentáveis, investindo em fontes de energia limpa e promovendo o consumo consciente como forma de mitigar os danos causados ao meio ambiente.

Um estudo da Amcham Brasil mostrou que 71% das empresas brasileiras adotam práticas ESG, indicando um avanço significativo na implementação de medidas ambientais e sociais.

Com o uso excessivo dos combustíveis fósseis para as produções o ar e o meio ambiente começaram a degradar e problemas que antes pareciam não ser nada se tornaram significativos. Com o avanço cada vez mais acelerado esses problemas se mostraram cada vez mais progressivos e degenerativos, dando indícios do que hoje conhecemos e chamamos de aquecimento global. Segundo Baird e Cann (2011) e Rocha (2013), “os combustíveis fósseis como grandes responsáveis pela degradação ambiental na atualidade, citando problemas como o efeito estufa e o aquecimento global.” (*apud* Bizerra, Coutinho e Queiroz, 2018, p.300)

O Aquecimento Global é decorrência de uma série de consequências induzidas através de ações humanas, como o desmatamento, uso de combustíveis fósseis e a poluição. Esses aspectos potencializam a concentração de gases responsáveis pelo efeito estufa na atmosfera, isso gera um aumento na temperatura global, provocando impactos significantes no meio ambiente.

Aquecimento Global é o processo do aumento da temperatura média do planeta, sendo causado em grande parte por ações antrópicas,

Nos últimos anos a comunidade científica tem se preocupado muito com o derretimento de calotas polares, um fenômeno provocado pelas alterações climáticas e pelo aumento das condições térmicas global. Esse processo traz diversos problemas significativos e preocupantes, como o aumento dos níveis oceânicos e interferências comprometedoras na biodiversidade e nos padrões climáticos do mundo. Diante dessa situação os cientistas buscam destacar medidas urgentes que devem ser tomadas para mitigar esse cenário.

O derretimento das geleiras nos últimos anos tem sido uma das principais consequências do aquecimento global. “Os efeitos do aquecimento global sobre o continente antártico têm sido noticiados pela imprensa, com uma certa regularidade. Imagens do derretimento das geleiras são frequentemente veiculadas” (Suda; Santini; Rodrigues, 2019, p.1), sendo uma das mais notáveis complicações conforme o tempo se passa.

Sabemos que à medida que a temperatura aumenta, as áreas que estão sob o gelo estão sujeitas a derreter, causando uma série de problemas, sendo alguns deles o aumento das marés, a redução do nível de água doce e o principal foco, o aumento de pandemias e epidemias, ou seja, vírus congelados que futuramente podem ser descongelados e trazerem uma série de consequências.

Para Layrargues (2020), o alerta sanitário da COVID-19 foi um sinal muito claro de que chegou a hora de se levar a sério a elaboração de políticas públicas de conter a devastação de ecossistemas preservados. Conforme a afirmação feita acima podemos assimilar que entre diversas causas do aquecimento global, o desmatamento é uma das principais e mais relevantes causas desse problema, que está diretamente relacionado com o derretimento das geleiras.

Este projeto será fundamentado em três partes principais, cada uma, dedicada a abordar aspectos específicos relacionados ao tema central do trabalho. A divisão em capítulos tem como objetivo organizar o conteúdo de forma clara e objetiva, permitindo uma compreensão mais aprofundada dos tópicos retratados. Ao longo de cada seção, serão apresentados argumentos, dados e reflexões que não apenas reforçam o que já foi discutido, mas também abrem espaço para novas interpretações, análises críticas e construtivas. Dessa forma, o projeto pretende ampliar o

entendimento sobre a temática proposta, promovendo uma abordagem mais completa.

1.2 Justificativa

A escolha desse trabalho foi feita pensando na sua relevância no mundo atual, trazendo e abrindo diversas possibilidades para discutir de forma mais ampla e clara alguns assuntos sobre o derretimento das geleiras e principalmente como isso está associado ao aumento de eventos pandêmicos e epidêmicos, e como podemos entrelaçar e associar esses pontos ao aquecimento global, o que nos leva a mais discussões, na qual podemos mencionar ações antrópicas e processos industriais responsáveis por esse fenômeno.

1.3 Objetivo da pesquisa

O objetivo desse trabalho é mostrar o efeito pandêmico e epidêmico do derretimento das geleiras, mostrando que não há apenas impactos ambientais, mais também um grande problema que se não for levado a sério pode se tornar um grande problema.

2 Mudanças Climáticas e o Degelo Polar

A partir do que foi discutido nas seções anteriores esse capítulo será focado especificamente em discutir os efeitos das mudanças climáticas nas regiões polares, tendo em vista que não há como compreender o porquê haverá um possível aumento das pandemias sem antes compreender o que são as mudanças climáticas, como elas começaram a aparecer e afetar o mundo, o que acelera esse processo, o que são as calotas polares e porque elas têm despertado a atenção de cientistas.

Nessa seção serão discutidos temas como o aquecimento global, a Revolução Industrial, os conceitos de pandemia e epidemia, o que são calotas polares, o que tem por baixo do gelo, porque as áreas congeladas possuem um certo interesse por parte da ciência, o que são as mudanças climáticas e quando elas surgiram. Além disso essa seção também irá servir para analisar as mudanças do clima nas áreas polares.

As calotas polares são massas extensas de gelo que cobrem as regiões polares da Terra, localizadas nos polos Norte e Sul. Elas são formadas pelo acúmulo da neve ao longo de milhares de anos, criando espessas camadas de gelo que podem atingir quilômetros de profundidade. No Hemisfério Norte, a principal calota polar é a do Ártico, que cobre o Oceano Ártico e partes do norte do Canadá, Groenlândia, Rússia e outros países.

No Hemisfério Sul, a Antártica apresenta a maior calota polar do planeta. Essas estruturas de gelo desempenham um papel crucial na regulação do clima global, refletindo a radiação solar devido à sua alta capacidade de refletir luz, e armazenando cerca de 68,9% da água doce do mundo. As calotas polares também influenciam as correntes oceânicas e o nível do mar, e seu derretimento acelerado, provocado pelas mudanças climáticas, representa uma ameaça significativa ao equilíbrio ambiental do planeta.

Segundo Silva (p.1, 2012), “68,9% da água doce encontra-se em geleiras e nas calotas polares.”. Com essa afirmação conseguimos compreender a dimensão da importância que as áreas congeladas possuem.

Por baixo das calotas polares, especialmente na Antártica e na Groenlândia, existem ambientes inóspitos que permanecem isolados há milhões de anos, abrigando formas de vida microscópicas, como bactérias, microrganismos e até vírus antigos. Em lagos subglaciais, como o Lago Vostok, na Antártica, cientistas encontraram microrganismos que sobreviveram sem luz solar, sob pressão extrema e em temperaturas congelantes, alimentando-se apenas de minerais ou compostos químicos presentes no ambiente.

Algumas dessas formas de vida são totalmente desconhecidas da ciência, porém outras são fundamentais para compreender o passado da terra, no caso, a milhões de anos atrás. Além disso, foram registrados vírus “zumbis”, que são vírus antigos e inativos preservados na vasta extensão de gelo que, ao serem descongelados em laboratório, mostraram ser capazes de infectar células. Essas descobertas despertam tanto fascínio científico quanto preocupação, pois o

derretimento das calotas pode liberar agentes virais que estavam adormecidos por séculos, com consequências imprevisíveis para os ecossistemas e a saúde humana.

Com o passar do tempo, as regiões polares têm revelado características peculiares que despertaram um crescente interesse por parte de pesquisadores e cientistas, algumas representam descobertas incríveis, enquanto outras apontam para sérios sinais de alerta ambiental. Estudos recentes apontam que o gelo e a neve, encontradas em regiões árticas, tem a capacidade de refletir grande parte da radiação solar.

Segundo a visão de Fonseca (2013, p.2), “O gelo e a neve, que atuam como um espelho, refletem 85% da radiação solar.”. Através dessa afirmação é possível concluir o porquê as regiões frias, como o polo norte e polo Sul, vêm chamando a atenção dos pesquisadores.

Além disso esses territórios também estão chamando a atenção de políticos, tendo em vista que seu derretimento vem abrindo novas rotas comerciais marítimas. A partir da corrente de pensamento de Fonseca (2013, p.2):

“Assim, à medida que a camada de gelo recua, novas oportunidades vão surgindo, particularmente económicas, mas também novos desafios, senão ameaças, à segurança desta região. Existe assim a expectativa de um boom comercial nesta região, resultante de uma possível e maior acessibilidade às expectáveis e abundantes riquezas naturais, bem como à abertura de novas e aparentemente atraentes rotas comerciais marítimas.”

Entretanto, apesar dessas descobertas, que parecem ser incríveis, há pontos negativos por trás das geleiras e seus derretimentos. As geleiras representam um risco crescente à sociedade principalmente devido ao seu acelerado derretimento, impulsionado pelas mudanças climáticas. À medida que grandes massas de gelo, como as calotas polares e geleiras continentais, derretem, enormes volumes de água são liberados nos oceanos, contribuindo diretamente para o aumento do nível do mar. Esse fenômeno ameaça comunidades costeiras em todo o mundo, podendo causar inundações, deslocamento de populações e danos à infraestrutura urbana.

Além do que, o degelo pode liberar microrganismos antigos, como bactérias e vírus preservados por milênios no gelo, que ao entrarem novamente em contato com o ambiente podem representar riscos à saúde global, sobretudo pela possibilidade de transmissão de doenças desconhecidas ou sem imunidade natural na população atual. Esses fatores mostram que o recuo das geleiras é não apenas uma

consequência do aquecimento global do aquecimento global, mas também uma ameaça direta à segurança ambiental, social e sanitária da humanidade. Tendo em vista esses pontos surge a necessidade de discutir o porquê as geleiras estão derretendo e quando esse fenômeno começou a acontecer.

O derretimento das geleiras é um processo progressivo que tem se intensificado nas últimas décadas, principalmente após a Revolução Industrial, devido ao aumento das temperaturas globais. A perda do gelo das geleiras atingiu um recorde entre os anos de 2023 e 2024, com a perda de aproximadamente 9 trilhões de toneladas de gelo desde o período em que o degelo começou a ser registrado, em 1975. Esse processo é alavancado pelas mudanças climáticas, que também é gerado pelas ações humanas.

As mudanças climáticas tiveram início durante o período da primeira revolução industrial, na qual, foram inventadas máquinas movidas a queima de combustíveis fósseis. A queima de carvão forma um composto químico chamado dióxido de carbono, que ao ser liberado na atmosfera acaba gerando diversos problemas, inclusive, deixando alguns buracos na camada de ozônio, intensificando o efeito estufa.

O avanço da industrialização ao longo dos séculos tem deixado marcas profundas no meio ambiente, especialmente nas regiões mais sensíveis do planeta, como as áreas polares. A crescente emissão de gases de efeito estufa, resultante da queima de combustíveis fósseis, do desmatamento e da expansão descontrolada das atividades humanas, tem contribuído significativamente para o aumento da temperatura global. Esse aquecimento progressivo afeta diretamente o equilíbrio climático da Terra, promovendo o derretimento acelerado das calotas polares e gerando uma série de consequências ambientais, sociais e até sanitárias.

As áreas polares, em especial a Antártica, têm sido alvo de diversas e profundas transformações nas últimas décadas. O aumento das temperaturas tem provocado o derretimento de geleiras, elevando o nível dos oceanos, alterando a salinidade da água e comprometendo ecossistemas inteiros. Além disso, há um risco crescente relacionado à liberação de micro-organismos antigos, vírus e bactérias que permaneceram preservados no gelo durante milhares de anos. Com o derretimento das geleiras, esses agentes podem voltar à superfície, despertando preocupações quanto ao surgimento de novas epidemias ou pandemias, como alertam cientistas e estudiosos da área.

A presença humana nas regiões polares também é um fator relevante a ser considerado. Enquanto o Polo Norte apresenta condições mais suaves e permite certa ocupação civil, o Polo Sul, por sua vez, é regido por tratados internacionais que restringem sua habitação a cientistas e pesquisadores, justamente para preservar seu ecossistema único e evitar interferências externas. Essa diferença reforça a importância da Antártica como espaço prioritário para estudos científicos e ambientais, especialmente no contexto das mudanças climáticas globais.

Nesse cenário, torna-se urgente repensar sobre o modelo de desenvolvimento que vem sendo adotado pela humanidade desde a Revolução Industrial. Embora o progresso tecnológico tenha gerado avanços significativos em diversas áreas, ele também tem sido responsável por um desequilíbrio ambiental de larga escala. É necessário repensar práticas econômicas e industriais, promovendo políticas públicas mais sustentáveis e incentivando iniciativas voltadas à preservação dos ecossistemas frágeis como os polares que desempenham um papel crucial na regulação climática do planeta.

Na visão de Nobre, Reid e Veiga, “Em setembro de 2012, o US National Snow and Ice Data Center (NSIDC), dos Estados Unidos, anunciou que a área de derretimento alcançou a extensão mínima de 3,41 milhões de km².”. Segundo essa tese, podemos distinguir que grande parte das áreas cobertas por gelo estão derretendo, e, após tudo o que foi dito, é necessário refletir a respeito desse derretimento, levando em consideração os pontos de vista econômicos, políticos e geográficos, e comparar com os aspectos negativos, que são diversos.

2.2 Efeito albedo

O efeito albedo é a forma como diferentes superfícies da Terra refletem a luz do Sol. Quando a luz bate em algo claro, como a neve ou o gelo, grande parte é refletida de volta para o espaço, ajudando a manter a região mais fria. Já quando a luz incide em superfícies escuras, como o asfalto, a terra ou o oceano, a maior parte é absorvida e transformada em calor, deixando o ambiente mais quente. Esse processo influencia diretamente o clima do planeta. Um exemplo é o que acontece nas regiões polares quando o gelo derrete, ele dá lugar a áreas mais escuras, que

absorvem mais calor, o que acelera ainda mais o aquecimento e derretimento dessas áreas.

Figura 2

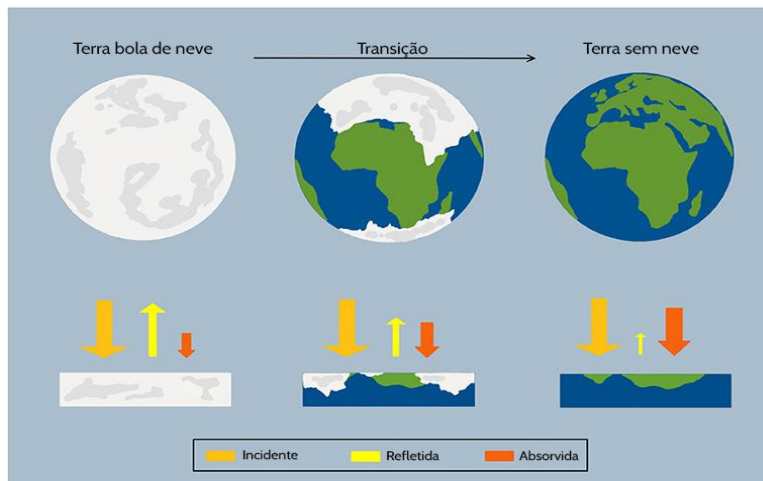


Figura: imagem que mostra a luz refletida e absorvida em diferentes períodos da TERRA. Disponível em: <https://parajovens.unesp.br/o-que-e-albedo-e-o-que-ele-tem-a-ver-com-o-aquecimento-global/> Acessado em: 23/09/2025

A Imagem ilustra o processo de transição da Terra encoberta de neve, chamada “Terra bola de neve”, para uma Terra sem neve, mostrando como a cobertura de gelo influencia na reflexão e na absorção de energia do planeta. Quando a Terra está quase totalmente coberta por gelo e neve, grande parte da radiação solar é refletida de volta para o espaço, devido a alta capacidade de reflexão das superfícies claras. À medida que o gelo começa a derreter, começa a surgir mais áreas escuras, como oceanos e solos, que ficam expostas, aumentando a absorção da radiação solar e intensificando o aquecimento. Esse processo intensifica o aumento da temperatura, em que o aquecimento acelera o derretimento das geleiras e a redução da reflexão da luz solar, contribuindo para uma transição gradual de um planeta congelado para um mais quente e com menor cobertura de gelo. Isso demonstra a extrema importância de coberturas de neve para o planeta.

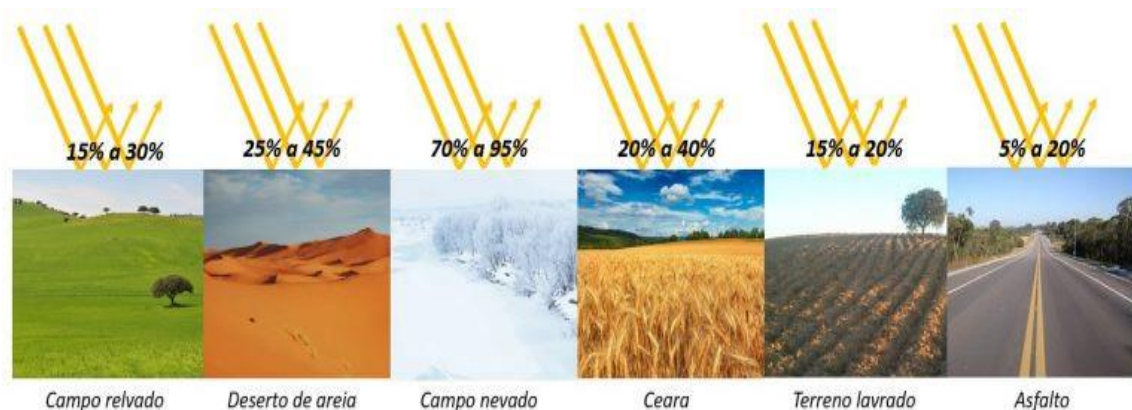
Figura 3

Figura: imagem que mostra a porcentagem de reflexão da luz solar em diferentes superfícies. Disponível em: <https://www.climadeensinar.com.br/post/2020/05/20/voc%C3%AA-sabe-o-que-%C3%A9-albedo> Acessado em: 23/09/2025

A imagem acima mostra diferentes tipos de superfícies terrestres e seus respectivos valores de efeito albedo, ou seja, a porcentagem de radiação solar refletida por cada uma delas. Superfícies claras, como campo nevado, apresentam uma alta porcentagem, valendo de 70% a 95% de reflexão, refletindo a maior parte da luz solar e contribuindo para o resfriamento local. Já superfícies escuras, como o asfalto, possuem baixo albedo, de 5% a 20%, absorvendo mais energia solar e aumentando a temperatura do ambiente. Entre esses extremos, encontram-se áreas como campos, desertos e plantações, com valores intermediários de reflexão. Essa variação demonstra como o tipo de cobertura do solo influencia diretamente o clima local e global, afetando o equilíbrio térmico da Terra.

2.3 Aquecimento Global e Efeito Estufa

O aquecimento global é o aumento gradual da temperatura média da atmosfera terrestre e dos oceanos, causado principalmente pela intensificação das atividades humanas desde a Revolução Industrial. A queima de combustíveis fósseis, o desmatamento e a emissão de gases poluentes aumentam a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, retendo mais calor na Terra. Esse aquecimento tem provocado mudanças climáticas significativas, como o derretimento de geleiras, a elevação do nível do mar, alterações nos padrões de chuva e o aumento na frequência de eventos climáticos extremos, como secas, ondas de calor e furacões.

O efeito estufa, por outro lado, é um fenômeno natural e essencial para a manutenção da vida na Terra. Ele ocorre quando alguns gases presentes na

atmosfera como o dióxido de carbono e o metano retêm parte do calor irradiado pela superfície terrestre, impedindo que ele se dissipe totalmente no espaço. Sem esse efeito, a Terra teria temperaturas muito baixas, impossibilitando a vida como conhecemos. No entanto, o problema surge quando há um aumento exagerado desses gases devido à ação humana, intensificando o efeito estufa natural e desequilibrando o clima global. Esse desequilíbrio é justamente o que impulsiona o aquecimento global.

Gráfico 1

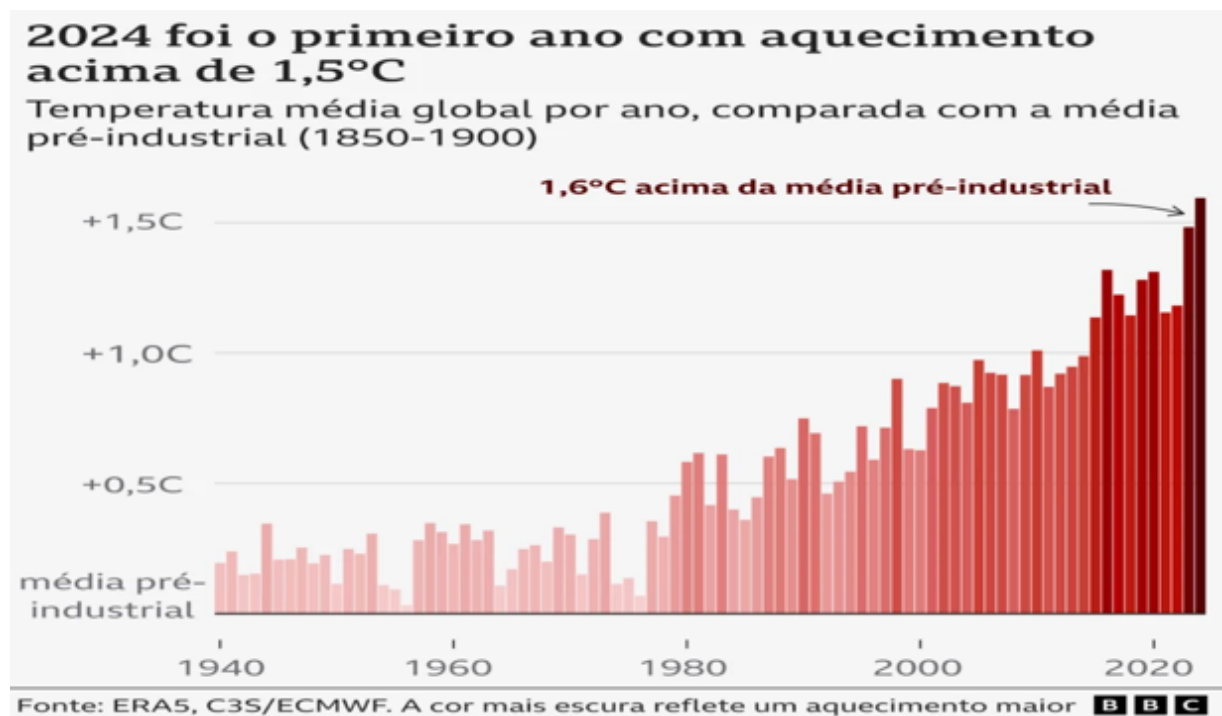


Gráfico: gráfico que mostra o aumento da temperatura ao longo do tempo. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/articles/czj3yem097po> Acessado em: 23/09/2025

O gráfico mostra que 2024 foi o ano em que a temperatura média global superou 1,5°C acima da média do período pré-industrial, marco considerado extremamente crítico pelos cientistas. É possível observar uma tendência clara de aumento contínuo das temperaturas ao longo das próximas décadas, com o aquecimento se intensificando especialmente após os anos 1980. Esse crescimento reflete o impacto crescente das atividades humanas, como a queima de combustíveis fósseis, o

desmatamento e as emissões de gases de efeito estufa. O fato de 2024 ter ultrapassado esse limite evidencia a aceleração do aquecimento global e reforça a urgência de medidas efetivas para conter o aumento da temperatura e mitigar os efeitos das mudanças climáticas.

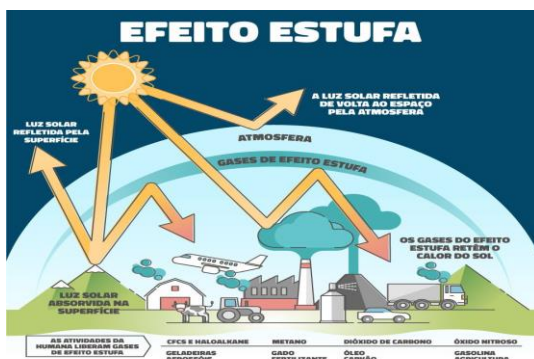
Esse aumento de temperatura tem consequências graves para o equilíbrio climático do planeta. O aquecimento acima de 1,5°C intensifica eventos climáticos extremos, como ondas de calor, secas prolongadas, incêndios florestais, derretimento acelerado das geleiras e elevação do nível do mar. Além disso, afeta ecossistemas sensíveis e coloca em risco a segurança alimentar e hídrica de milhões de pessoas. Cientistas alertam que, se as emissões de gases de efeito estufa continuarem no ritmo atual, será cada vez mais difícil limitar o aquecimento global e evitar pontos de não retorno, em que as mudanças se tornem irreversíveis. Por isso, é fundamental reduzir rapidamente as emissões, investir em energias limpas e restaurar ecossistemas naturais para tentar estabilizar o clima e preservar as condições de vida no planeta.

A partir das ideias de Nobre (página 2):

“haverá mudanças climáticas globais de grande magnitude ocorrendo nos próximos 100 anos. Entre elas, as mais significativas para o país são o aumento de temperatura, modificações nos padrões de chuvas e alterações na distribuição de extremos climáticos tais como secas, inundações, penetração de frentes frias, geadas, tempestades severas, vendavais, granizo etc.”

A imagem a seguir representa o efeito estufa, um fenômeno natural essencial para manter a temperatura da Terra adequada à vida. Ela mostra como parte da radiação solar é absorvida pela superfície terrestre, enquanto outra parte é refletida de volta para o espaço. Os gases de efeito estufa, como dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4), retêm parte desse calor na atmosfera, aquecendo o planeta. No entanto, o aumento excessivo desses gases, causado pelas atividades humanas, intensifica o aquecimento global e desequilibra o clima.

Figura 4



*Figura 2: representação de como funciona o efeito estufa. Disponível em: <https://www.significados.com.br/efeito-estufa/>
Acessado em: 23/09/2025*

O aumento do efeito estufa é um dos impactos das mudanças climáticas no mundo. Quando a concentração de gases como dióxido de carbono e metano cresce na atmosfera, ocorre uma intensificação da retenção de calor, alterando profundamente o equilíbrio energético da Terra. Esse processo, impulsionado por atividades humanas como a queima de petróleo, carvão e gás natural, além do desmatamento de florestas tropicais, destrói a capacidade natural do planeta de regular sua temperatura. O resultado é um aquecimento global progressivo, que modifica padrões de chuva, acelera o derretimento das geleiras, aumenta o nível dos oceanos e causa impactos severos em ecossistemas e sociedades humanas. A longo prazo, essas mudanças ameaçam a biodiversidade, comprometem a produção de alimentos, a disponibilidade de água potável e a estabilidade econômica e social de diversas regiões, tornando urgente a transição para fontes de energia limpas e sustentáveis e políticas globais de mitigação do carbono.

A Figura a seguir mostra um mapa das anomalias de temperatura na superfície da Antártica em 2024. As cores vermelhas e alaranjadas indicam regiões com temperaturas acima da média, enquanto as áreas em tons de azul representam temperaturas abaixo do normal. É possível observar que a área do Hemisfério Sul, apresenta um aquecimento acentuado, evidenciando o impacto das mudanças climáticas globais. Essas anomalias demonstram como o aquecimento não ocorre de forma uniforme, mas sim com variações regionais intensas, influenciadas por fatores atmosféricos e oceânicos, como o derretimento das calotas polares.

Figura 5

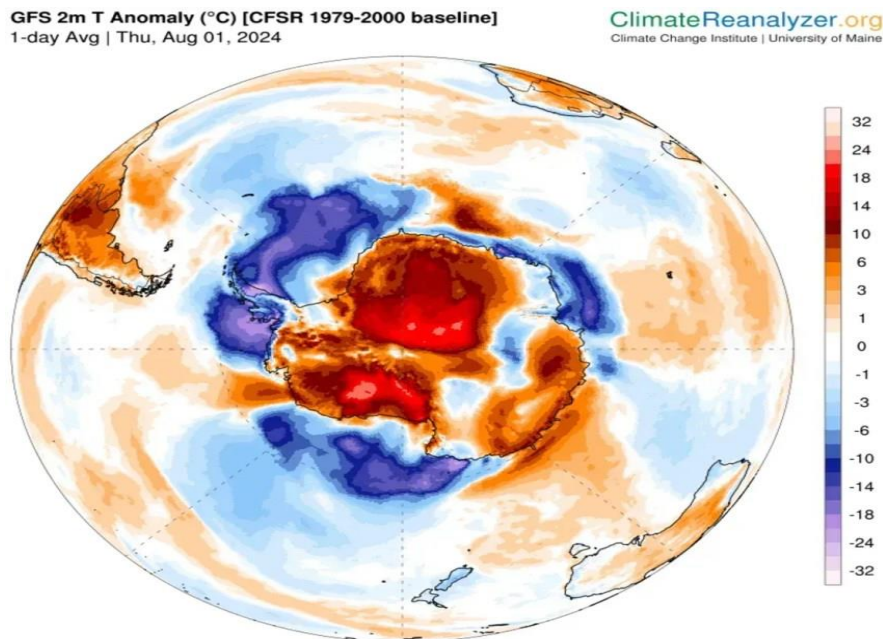


Figura 3: mapa de calor da Antártica. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/tecnologia/onda-de-calor-na-antartida-eleva-temperaturas-a-10o-c-acima-do-normal/> Acessado em: 23/09/2025

2.4 Pandemia e Epidemia: Entenda os termos.

Para prosseguir o artigo é crucial compreender a relação entre os conceitos Pandemia e Epidemia, tendo em vista que esses temas serão discutidos com bastante frequência ao longo do trabalho.

Epidemias e pandemias são termos utilizados para descrever e identificar surtos de doenças, ambos envolvem um aumento anormal no número de casos em relação ao que se espera. Essas situações exigem resoluções rápidas e efetivas das autoridades de saúde, como campanhas de vacinação, quarentena de infectados e outras medidas de controle. Além disso, tanto epidemias quanto pandemias podem causar impactos significativos na sociedade, afetando o sistema de saúde, a economia e o cotidiano das pessoas. A principal semelhança entre os dois conceitos é que ambos se referem a doenças infecciosas que tiveram um aumento descomunal no número de casos e colocam em risco a saúde pública.

A principal diferença entre eles está na dimensão geográfica e no alcance populacional. Uma epidemia é restrita a uma região específica, como uma cidade ou país, enquanto uma pandemia se espalha por vários países ou continentes, afetando um número muito maior de pessoas. Pandemias são mais raras e costumam ser reconhecidas oficialmente por organizações internacionais, como a Organização Mundial da Saúde.

2.5 Agentes patogênicos

Agentes patogênicos são seres microscópicos que podem causar doenças em pessoas, animais e até nas plantas. A palavra “patogênico” significa justamente “capaz de causar doença”. Esses agentes entram no organismo, se multiplicam ou interagem com as células e acabam prejudicando o funcionamento normal do corpo.

Os principais tipos de agentes patogênicos são os vírus, bactérias, fungos, protozoários, parasitas e priões.

Esses agentes podem ser transmitidos de várias formas, sendo alguma delas pelo contato direto com pessoas doentes, pelo consumo de água e comida contaminada, por animais transmissores ou até pelo ambiente, como no caso de microrganismos que ficaram presos no gelo por milhares de anos e podem ser liberados com o derretimento das geleiras.

Entender como os agentes patogênicos funcionam é muito importante para a ciência e a saúde. Isso ajuda a criar vacinas, remédios e formas de prevenção, além de permitir que a sociedade esteja mais preparada para lidar com epidemias e pandemias.

A Figura logo a frente apresenta diferentes tipos de agentes patogênicos, que são organismos capazes de causar doenças em seres humanos e outros seres vivos. Entre eles estão os vírus, bactérias, protozoários e fungos microscópicos, cada um com características e modos de infecção distintos. Esses microrganismos podem ser transmitidos por meio do ar, da água, de alimentos contaminados ou pelo contato direto entre indivíduos. O estudo desses agentes são fundamentais para a prevenção de doenças infecciosas e para o desenvolvimento de vacinas e medicamentos que contribuem para a melhora da saúde pública.

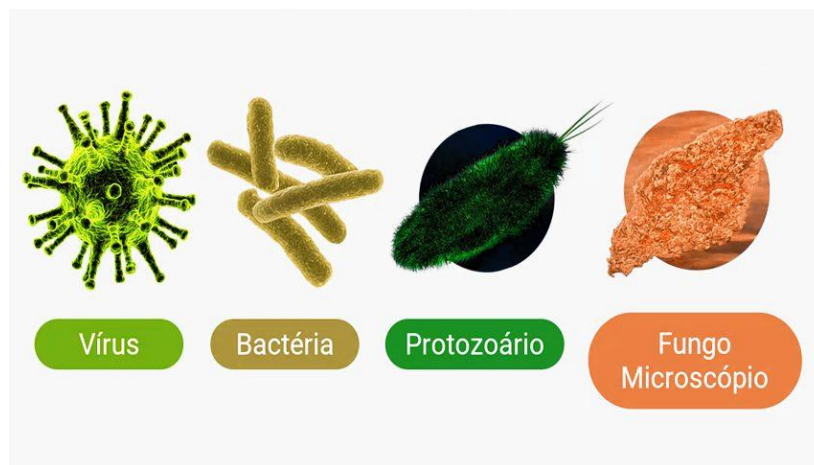
Figura 6

Figura 2: Imagem que mostra os agentes patogênicos, identificando alguns deles. Disponível em: <https://ensina.rtp.pt/artigo/microrganismos-microbios-patogenicos/> Acessado em: 23/09/2025

Os agentes patogênicos protagonizam um papel central nas doenças infecciosas e impactam diretamente a saúde humana e de outros seres vivos. Os vírus, por exemplo, são partículas microscópicas que necessitam de uma célula hospedeira para se reproduzir, sendo responsáveis por doenças como a gripe, a dengue e a COVID-19. Já as bactérias podem ser tanto benéficas quanto prejudiciais, podendo causar doenças como a tuberculose, se forem patogênicas. Os protozoários, organismos unicelulares, são conhecidos por provocar infecções como a malária e a amebíase, enquanto os fungos microscópicos podem causar micoses e infecções mais graves em pessoas com o sistema imunológico enfraquecido. A presença desses microrganismos está completamente relacionada a fatores ambientais, sanitários e sociais, tornando essencial o investimento em higiene, saneamento básico, vacinação e pesquisa científica para controlar e prevenir surtos epidêmicos e proteger a saúde global.

A imagem a seguir apresenta uma comparação estrutural entre um príon normal e um príon patogênico. No príon normal, observa-se que os aminoácidos estão organizados predominantemente em alfa-hélices e em estruturas de folha pregueada. Já o príon patogênico apresenta uma alteração significativa, com um aumento na proporção de aminoácidos em beta-hélice.

Figura 7

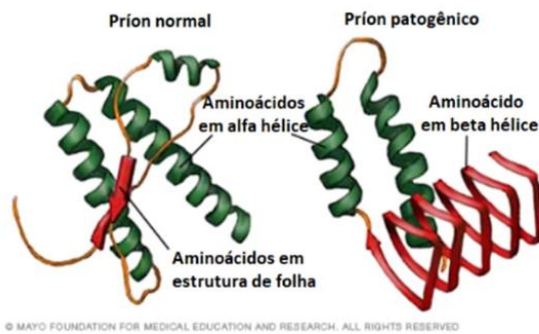


Figura 3: Imagem que mostra o agente patogênico Prion. Disponível em: <https://profissaobiotec.com.br/prions-alem-da-vaca-louca/> acessado em: 23/09/2025

2.6 Extremófilos: vida nos extremos do planeta

Os extremófilos são organismos que conseguem viver em lugares extremos. A maioria dos extremófilos é formada por microrganismos, principalmente arqueias e bactérias. O que os torna especiais é a capacidade incrível de se adaptar a condições de vida extremas. Alguns desses organismos aparecem em fontes hidrotermais no fundo do oceano, em temperaturas tão altas que fariam a água ferver em superfície. Outros preferem ambientes gelados, como as geleiras, onde suportam frio intenso. Há também os que vivem em lagos extremamente salgados, em locais muito ácidos ou alcalinos, sob pressões enormes no fundo do mar ou até mesmo em regiões expostas a altos níveis de radiação.

Além disso, os extremófilos despertam grande interesse na astrobiologia. Se a vida conseguiu se adaptar a lugares tão hostis na Terra, é possível imaginar que formas de vida semelhantes possam existir em outros planetas ou luas, como Marte ou Europa, onde as condições também são extremas.

Assim, os extremófilos nos mostram que a vida é muito mais versátil e resistente do que costumamos pensar, revelando um mundo invisível, mas cheio de possibilidades, que amplia nossa compreensão tanto da biologia quanto da própria ideia de onde a vida pode existir.

A imagem apresentada mostra um tardígrado, um microrganismo conhecido por sua extrema resistência a condições ambientais adversas. É possível observar que sua forma se assemelha a uma forma de urso, apresentando sua estrutura robusta, com oito patas curtas terminadas em pequenas garras, adaptadas para se agarrar a superfícies como musgos e líquens. Sua aparência é destacada pela cabeça arredondada e pelo corpo inchado, características que permitem ao tardígrado sobreviver a temperaturas extremas, radiação intensa, pressões extremas e até mesmo ao vácuo do espaço. Essa imagem evidencia a complexidade e a singularidade de um organismo microscópico, que, apesar de seu tamanho quase microscópico, possui capacidades extraordinárias de sobrevivência.

Segundo Barros (p.2, 2022, apud Wright, 1989; Rebecchi et al., 2007; Somme, 1996; Hengherr et al., 2009; Jönsson, 2019; Reuner et al., 2010; Guidetti et al., 2011; Leetham et al., 1982; Vargha et al., 2002; Jönsson et al., 2008; Hengherr et al., 2008; Schill, 2010):

“Os tardígrados são, provavelmente, os mais famosos criptozoários devido às habilidades que lhes permitem sobreviver a um amplo espectro de condições ambientais extremas, como falta de água, temperaturas muito baixas ou muito elevadas, exposição à radiação ionizante, falta de comida, falta de oxigênio, elevados níveis de substâncias tóxicas ou ao vácuo espacial”

Figura 8:



Figura 6: Imagem que mostra um exemplo de extremófilo, o tardígrado. Disponível em: <https://www.nationalgeographic.com/animals/article/extreme-life-forms-on-the-edge> acessado em: 23/09/2025

2.7 Bacillus Anthracis

Bacillus anthracis é a bactéria causadora do antraz, uma doença que afeta tanto seres humanos quanto animais, especialmente herbívoros como bovinos, caprinos e ovinos. Esse microrganismo tem a capacidade de formar esporos extremamente resistentes, que permanecem viáveis no solo por décadas, o que faz do antraz uma zoonose de grande importância sanitária.

Nos animais, a infecção geralmente acontece quando ingerem pastagens ou água contaminadas pelos esporos. Em herbívoros, a doença pode se desenvolver de forma aguda, levando rapidamente à morte por septicemia. Os sinais incluem febre alta, falta de apetite, tremores, dificuldade respiratória e, em muitos casos, morte súbita. Um aspecto característico observado nas carcaças de animais infectados é a presença de sangue escuro que não coagula, saindo por orifícios naturais como boca e narinas. Isso facilita a disseminação dos esporos no ambiente, contaminando o solo e perpetuando o ciclo da doença.

Nos humanos, o antraz se manifesta de diferentes formas, dependendo da via de entrada da bactéria. A forma cutânea é a mais comum e representa a maioria dos casos, começando com uma pequena lesão na pele que evolui para uma lesão escura cercada por edema. Apesar de ser a menos letal, pode levar a complicações graves se não for tratada. A forma inalatória é considerada a mais grave e ocorre quando os esporos atingem os pulmões; inicialmente os sintomas lembram os de uma gripe, mas evoluem rapidamente para dificuldade respiratória severa, choque e alta mortalidade. Já a forma gastrointestinal surge após o consumo de carne contaminada e mal-cozida, provocando dor abdominal intensa, náuseas, vômitos com sangue e diarreia grave, podendo evoluir para infecção generalizada. Existe ainda a forma por injeção, registrada em usuários de drogas injetáveis, que causa infecções profundas de tecidos e pode rapidamente levar à septicemia.

Figura 9

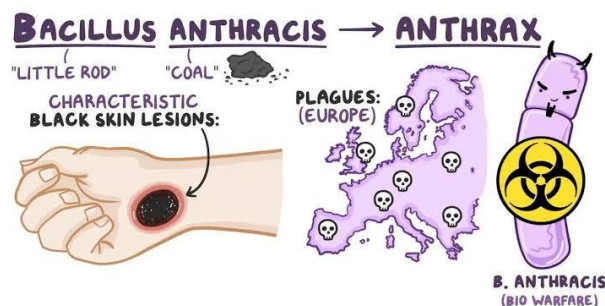


Figura 4: Imagem que mostra as características e a bactéria *Bacillus anthracis*. Disponível em: [https://www.osmosis.org/learn/Bacillus anthracis %28Anthrax%29](https://www.osmosis.org/learn/Bacillus%20anthracis%28Anthrax%29) Acessado em: 23/09/2025

A imagem apresentada ilustra a bactéria *Bacillus anthracis*, agente patogênico causador do antraz, uma doença infecciosa grave que pode afetar humanos e animais. É possível uma representação do microrganismo, característica típica. A figura também destaca as lesões escuras que são sintoma marcante da doença. O símbolo de risco biológico reforça o potencial de perigo do *Bacillus anthracis*, que pode ser utilizado até mesmo como arma biológica devido à sua capacidade de formar esporos extremamente resistentes no ambiente.

A imagem abaixo mostra o processo de infecção pelo antraz inalatório, causado pela bactéria *Bacillus anthracis*. Ela ilustra como os esporos do microrganismo são inalados e entram nos pulmões, alcançando os espaços alveolares onde se alojam. Em seguida, os esporos são transportados pelo sistema linfático até os gânglios localizados entre o esterno e a coluna vertebral, conhecidos como linfonodos mediastinais. Nesse local, as bactérias germinam e liberam toxinas letais que causam danos severos aos tecidos e podem levar à morte se não houver

tratamento rápido. A figura evidencia a infecção e os principais mecanismos patogênicos do antraz.

Figura 10

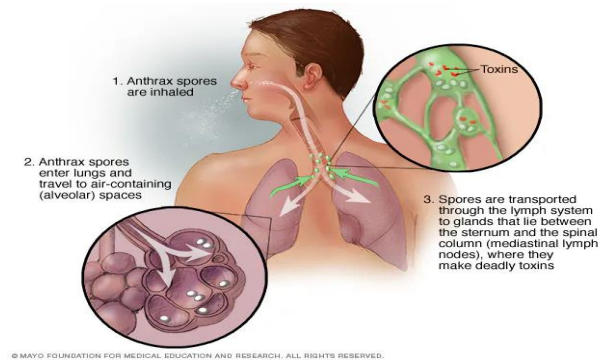


Figura 5: Imagem que mostra como a *Bacillus anthracis* entra no corpo. Disponível em: <https://www.mayoclinic.org/content/dam/media/en/images/2023/02/10/inhalation-anthrax.jpg> Acessado em: 23/09/2025

A imagem apresentada a seguir demonstra uma lesão característica de uma das formas do antraz, causada pela bactéria *Bacillus anthracis*. Observa-se uma ferida escura e uma área avermelhada ao redor, o que é resultado da necrose tecidual provocada pelas toxinas das bactérias. Essa lesão surge após o contato direto da pele com esporos do microrganismo, especialmente em pessoas que lidam com produtos de origem animal contaminados. Apesar de ser a forma mais comum e menos letal da doença, o antraz cutâneo requer tratamento médico imediato com antibióticos, pois, se não tratado adequadamente, pode evoluir para formas sistêmicas mais graves.

Figura 11



Figura 6: Imagem real que mostra os sintomas da doença. Disponível em: <https://pdf.sciencedirectassets.com/313796/1-s2.0-S2452247319X00035/1-s2.0-S2452247318302486/> Acessado em: 23/09/2025

A imagem ilustra o ciclo de transmissão do *Bacillus anthracis*, agente causador do antraz, destacando a relação entre o ambiente, os animais e os seres humanos. No solo, como podemos ver os esporos da bactéria atuam como reservatórios, podendo permanecer por longos períodos. Animais domésticos e silvestres ingerem ou inalam esses esporos durante a alimentação, tornando-se hospedeiros e fontes de infecção para outros organismos. Insetos e outros vetores podem atuar como intermediários, transportando os esporos entre diferentes espécies. Os humanos, por sua vez, podem ser infectados por meio do contato direto com animais contaminados, produtos de origem animal ou pela inalação dos esporos.

O ciclo de transmissão do *Bacillus anthracis* evidencia a complexa relação entre os ecossistemas naturais, a pecuária e a saúde humana. Os esporos dessa bactéria são altamente resistentes e podem permanecer no solo por décadas, e se reativam quando entram em contato com hospedeiros propícios. A infecção em animais geralmente ocorre por ingestão ou inalação de esporos presentes na vegetação contaminada, e, uma vez mortos, seus corpos tornam-se importantes fontes de disseminação ambiental. Em humanos, o antraz pode se manifestar de formas cutânea, gastrointestinal ou pulmonar, dependendo da via de exposição. A compreensão desse ciclo é essencial para o controle da doença, pois medidas como a vacinação de rebanhos, o manejo adequado de carcaças e a vigilância sanitária integrada são fundamentais para prevenir surtos e minimizar o risco de transmissão.

Figura 12

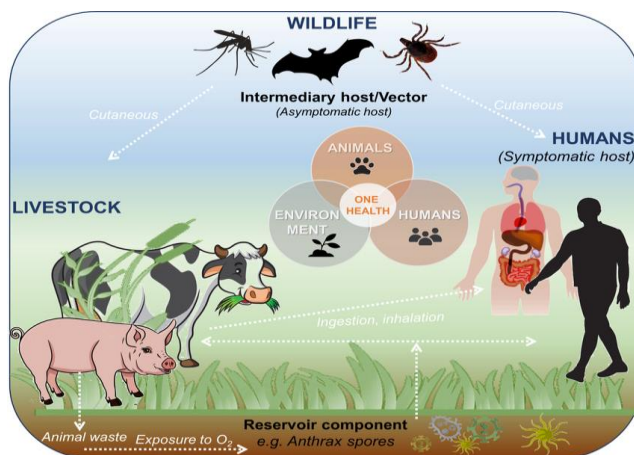


Figura 7: Imagem que mostra o ciclo de transmissão da *Bacillus anthracis*. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/The-transmission-cycle-of-Bacillus-anthraxis_fig3_374898968 Acessado em: 23/09/2025

A imagem apresentada mostra a estrutura celular da bactéria *Bacillus anthracis*. É possível observar componentes fundamentais, como a cápsula, a parede celular, a membrana plasmática, o citoplasma e os ribossomos, que participam das funções vitais da célula bacteriana. Um destaque importante é a presença do endósporo, uma forma de resistência que permite à bactéria sobreviver em condições ambientais extremas, como falta de nutrientes, calor intenso, ou frio extremo, e exposição a agentes químicos. O endósporo contém o DNA bacteriano protegido por várias camadas, garantindo sua viabilidade por longos períodos no solo e sua capacidade de reiniciar o ciclo infeccioso quando encontra um hospedeiro adequado. Essa característica torna o *Bacillus anthracis* um dos microrganismos mais resistentes e preocupantes em termos de biossegurança e saúde pública.

Figura 13

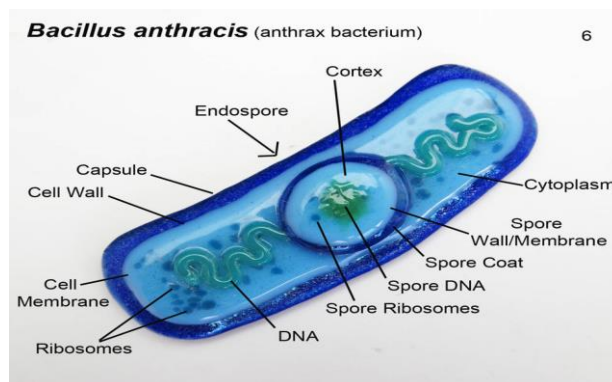


Figura 8: Imagem que representa a célula da *Bacillus anthracis*. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/The-transmission-cycle-of-Bacillus-anthraxis_fig3_374898968 Acessado em: 23/09/2025

Península de Yamal

Em 2016, a Península de Yamal, localizada no norte da Sibéria, foi palco de um grave surto de antraz (*Bacillus anthracis*) que foi associado ao derretimento do

permafrost. Durante o verão que naquele ano foi o mais quente registrado em mais de sete décadas, o calor extremo fez com que o solo congelado descongelasse, expondo carcaças de renas infectadas pelo patógeno há mais de 70 anos. Os esporos da bactéria, altamente resistentes, voltaram a circular no ambiente e contaminaram novamente o local, resultando na morte de mais de 2.300 renas. O surto também atingiu comunidades indígenas nômades da região, levando dezenas de pessoas ao hospital e causando a morte de uma criança. Esse evento tornou-se um dos exemplos mais concretos de como o aquecimento global pode reativar patógenos adormecidos e provocar epidemias em regiões frias.

Figura 14

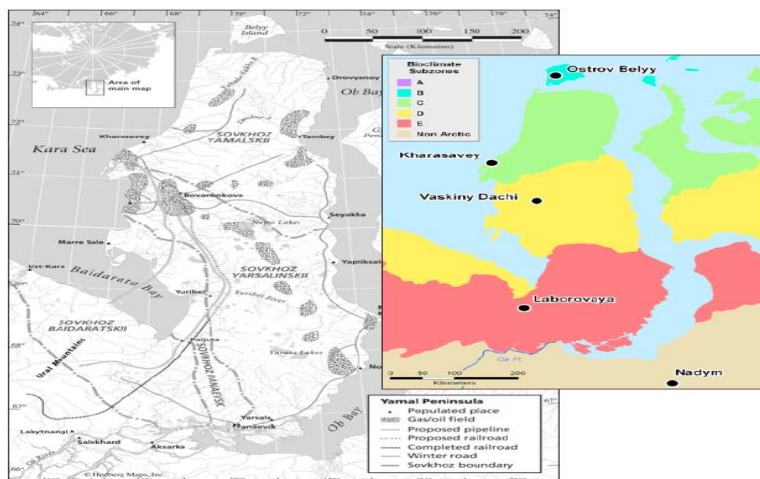


Figura: mapa que mostra a localização da Península de Yamal. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/The-Yamal-Peninsula-with-locations-of-existing-and-proposed-infrastructure-modified-from_fig1_231034405 acessado em: 23/09/2025

A fotografia foi escolhida por ilustrar visualmente a presença de renas em seu habitat natural na península de Yamal, na Rússia. Essas renas são particularmente relevantes do ponto de vista microbiológico, pois podem atuar como fontes contaminantes do *Bacillus anthracis*, a bactéria responsável pelo antraz. O contato dos animais com solos contaminados ou a disseminação de esporos presentes em carcaças aumenta o risco de surtos da doença, tanto entre os próprios rebanhos quanto potencialmente para populações humanas próximas. Assim, a imagem serve para contextualizar a importância do monitoramento desses animais na prevenção de crises sanitárias.

Figura 15



Figura: fotografia das renas locais tiradas da península de yamal. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/brasil/siberia-planeja-sacrificar-250-mil-renas-para-conter-surto-de-doenca-20206105> acessado em: 23/09/2025

Yakutsk, Sibéria Oriental

Na cidade de Yakutsk, considerada uma das mais frias do planeta, o derretimento do permafrost tem despertado grande preocupação entre cientistas. Sob o solo congelado da região, existem antigos cemitérios onde foram enterradas vítimas de doenças como a varíola, erradicada oficialmente em 1980. À medida que o permafrost se descongela, há o risco de que fragmentos de vírus ou outros patógenos preservados por séculos possam ser expostos. Embora ainda não tenham sido registrados surtos na cidade, estudos laboratoriais já conseguiram “reviver” vírus gigantes de até 30 mil anos de idade encontrados em amostras de permafrost siberiano, reforçando a necessidade de monitoramento constante. O caso de Yakutsk serve como alerta sobre os potenciais perigos biológicos escondidos sob o gelo milenar.

Figura 16



Figura: mapa que mostra a localização de Yakutsk. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Map-of-eastern-Russia-open-a-ccess-showing-the-location-of-the-Yakutia-Republic-and_fig1_322841841 acessado em: 23/09/2025

Gripe espanhola no Alasca

No Alasca, pesquisadores têm identificado sinais preocupantes em antigas áreas de sepultamento de vítimas da gripe espanhola de 1918, enterradas em vilas árticas durante o congelamento do solo. O degelo progressivo dessas regiões, impulsionado pelo aumento das temperaturas globais, ameaça expor tecidos e fluidos corporais preservados que ainda contêm fragmentos do vírus influenza responsável pela pandemia. Em 1997, cientistas conseguiram isolar amostras genéticas intactas desse vírus a partir de corpos congelados em permafrost, confirmando sua capacidade de sobrevivência por quase um século. Embora não tenham ocorrido novos surtos, o caso evidencia o potencial risco da volta de patógenos antigos à medida que o gelo derrete, destacando a importância de ações preventivas e de vigilância epidemiológica nas áreas árticas.

Figura 17



Figura: mapa que mostra a localização do Alasca. Disponível em: https://www.geografiapura.com.br/fld_america/fld_america_norte/fld_paises/alasca.html acessado em: 23/09/2025

3 METODOLOGIA

A presente pesquisa é um estudo a respeito da análise específica de uma das consequências do aquecimento global, o derretimento das geleiras, e colocando a vista o problema epidemiológico que isso causa, com abordagem explicativa, voltada à compreensão de descrever de forma aprofundada o objeto de estudo. O método adotado pretende assegurar a validade e a consistência dos objetos do trabalho.

Para isso foi necessário que a investigação fosse conduzida em algumas etapas, sendo elas as pesquisas bibliográfica, com o intuito de acrescentar informações relevantes ao tema escolhido, trazendo dados e informações coerentes ao tema, depois foi realizada coleta de dados por meio de uma entrevista com a especialista e professora Emanuele Khun, com o objetivo de comprovar os fatos obtidos através das pesquisas, ampliar os conhecimentos a respeito do tema e acrescentar informações ao trabalho, por último será realizado uma análise dos dados com base em estatísticas que contribuem para abrir espaço para novas interpretações e evidências que sustentem as discussões levantadas acerca do trabalho.

As pesquisas bibliográficas foram realizadas com o objetivo de adquirir informações e conhecimento do assunto, contribuindo de forma significativa para a melhor compreensão do tema proposto. Todas as pesquisas levantaram dados importantes sobre o derretimento das calotas polares, como isso acontece, o porquê isso é um problema, como isso impacta no fluxo migratório global, como isso afeta na aceleração das novas epidemias e principalmente pandemias, o contexto atual, como o aquecimento global interfere bastante nesse derretimento e quais são as possíveis implicações no geral de tudo o que foi levantado nas seções anteriores.

O artigo “A importância dos estudos envolvendo microrganismos da Antártica.” é de extrema importância para o trabalho porque evidencia o potencial científico e bacteriológico da Antártica, um ambiente ainda pouco explorado e com ampla possibilidade de descobertas biológicas. A afirmação de Cury nos mostra que, devido ao seu isolamento e às condições extremas, a região pode abrigar microrganismos diversos, incluindo fungos, protozoários, bactérias, arqueias e vírus, o que amplia o entendimento sobre a biodiversidade global. Além de reforçar a importância da pesquisa científica nesse continente, o artigo também contribui para destacar como essas descobertas podem trazer implicações significativas, seja no campo da medicina, tornando-se assim uma referência essencial para o estudo.

A contribuição do artigo de Fonseca “O Ártico e as alterações climáticas” é relevante para o trabalho porque destaca o papel essencial do gelo e da neve como agentes de regulação climática, uma vez que refletem 85% da radiação solar. Essa informação evidencia como essas superfícies funcionam como um mecanismo natural de resfriamento do planeta, ajudando a manter as baixas temperaturas nas regiões polares e garantindo maior estabilidade climática. Ao relacionar esse

processo ao derretimento das geleiras, torna-se possível compreender que a diminuição da cobertura de gelo não implica apenas perda física, mas também a redução da capacidade de reflexão, o que intensifica o aquecimento global. Assim, o artigo fornece uma base científica para discutir os efeitos do degelo no equilíbrio ambiental em escala planetária.

O estudo do artigo “*Fundamentos científicos das mudanças climáticas.*” é relevante para o trabalho porque é evidenciado, de forma quantitativa, a gravidade do processo de derretimento do gelo nas regiões polares. A informação divulgada pelo US National Snow and Ice Data Center (NSIDC), em setembro de 2012, ao registrar a extensão mínima de 3,41 milhões de km², mostra uma redução alarmante da cobertura de gelo no Ártico, configurando-se como um dos níveis mais baixos já observados. Esse registro não apenas comprova a aceleração do aquecimento global, mas também serve como parâmetro científico para acompanhar a evolução das mudanças climáticas ao longo dos anos. Assim, o dado reforça a necessidade de atenção e medidas urgentes diante das consequências ambientais e sociais resultantes da perda acelerada de gelo no planeta.

O artigo “*Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável no Brasil.*” é relevante para o trabalho pois ele destaca, por meio de dados concretos, a magnitude da presença de água doce armazenada nas geleiras e calotas polares, o que evidencia sua função essencial para a vida no planeta. Ao demonstrar que a maior parte desse recurso vital se encontra concentrada nessas regiões, a pesquisa de Silva reforça a importância de compreender os impactos do aquecimento global sobre essas reservas naturais. Além disso, o dado apresentado serve como base científica para fundamentar discussões acerca da preservação dos ecossistemas congelados, permitindo relacionar a perda de massa de gelo às consequências ambientais e sociais decorrentes da redução da disponibilidade de água doce no futuro.

Esses artigos foram escolhidos para o trabalho, pois são os mais importantes porque fornecem informações científicas sólidas e atualizadas sobre diferentes aspectos do derretimento das geleiras e seu impacto ambiental. Cada estudo contribui de forma complementar. No caso o artigo de Silva evidencia a quantidade de água doce armazenada nas calotas polares, Cury ressalta a biodiversidade ainda pouco explorada da Antártica, Fonseca mostra a importância do gelo e da neve na regulação da radiação solar, e o relatório do NSIDC apresenta dados quantitativos sobre a extensão mínima do gelo no Ártico. Juntos, eles permitem construir uma visão abrangente do tema, unindo dados estatísticos, impactos ecológicos e climáticos, além de reforçar a relevância de medidas de preservação e monitoramento das regiões polares.

A escolha da entrevista com a Emanuele Khun está relacionada ao fato de ela conhecer com a sua própria visão o território da Antártica, tendo em vista que além de professora ela também trabalha como guia da região e estava lá a poucos meses. Além disso acredito que seja de extrema importância ter uma conversa com ela, pois ela vivencia isso, e sabe como as mudanças climáticas interferem na prática. Todos os fatores citados, como sua experiência e vivência, contribuem para sua contribuição no trabalho.

As análises estatísticas serão de suma importância para evidenciar se de fato estamos vivendo um período de grande instabilidade epidemiológica e conseguir observar se tudo o que foi estudado possui base científica para poder ser validado. Além disso, essas análises contribuíram para afirmar as hipóteses levantadas nas últimas seções.

Com tudo isso em mente a escolha dos procedimentos metodológicos foi feita junto ao orientador, guiada através dos objetivos da pesquisa, garantindo a validade e a confiabilidade dos resultados obtidos.

4 ANÁLISE DE DADOS/ESTATÍSTICAS

Nessa seção será discutida a análise e os resultados dos estudos realizados até agora. De modo geral, foi possível observar que as áreas polares estão sendo profundamente afetadas pelo aquecimento global, evidenciando um processo contínuo de perda de gelo.

A análise de dados sobre o derretimento das geleiras revela um cenário cada vez mais caótico em relação às mudanças climáticas e seus impactos. Por meio de imagens de satélite e gráficos comparativos, torna-se possível monitorar alterações significativas na extensão e espessura das massas de gelo em diferentes regiões do planeta. Esse acompanhamento permite identificar, com uma ampla precisão, o ritmo acelerado da perda do gelo ao longo das últimas décadas.

Os dados coletados demonstram que partes da Antártica estão apresentando taxas de derretimento superiores às registradas em períodos anteriores. Estudos recentes reforçam a relação direta entre o aumento da temperatura média global e a redução constante da cobertura de gelo, confirmando que o aquecimento atmosférico e oceânico é o principal motor desse processo. Além disso, o derretimento frequente de grandes blocos de gelo vem se intensificando, representando um risco adicional para a estabilidade das plataformas de gelo.

Essas informações não apenas descrevem a situação atual, mas são fundamentais para projeções futuras. Com base nessa análise, é possível estimar cenários de elevação do nível do mar, prever alterações na disponibilidade de água doce em regiões dependentes do degelo sazonal e avaliar riscos socioeconômicos para populações costeiras. Dessa forma, o estudo detalhado dos dados cumpre uma função estratégica, onde o objetivo é orientar a formulação de políticas públicas, apoiar a implementação de estratégias de mitigação das mudanças climáticas e definir medidas de adaptação capazes de reduzir impactos em sociedades vulneráveis.

O primeiro gráfico mostra as pandemias, quando elas ocorrem, e o número de mortos em cada uma. É possível perceber que as pandemias estão cada vez mais

frequentes, a várias possibilidades de respostas, e uma delas pode ser o derretimento das geleiras.

O segundo gráfico analisado ilustra a vulnerabilidade da Antártica, tanto oriental quanto ocidental, frente às mudanças climáticas. É essencial compreender que ambas as regiões estão sendo afetadas de maneira significativa, porém os dados indicam que a Antártica Oriental apresenta níveis de derretimento ainda mais críticos. Essa constatação reforça a importância de compreender a dinâmica regional das geleiras, uma vez que diferentes setores respondem de forma distinta ao aumento das temperaturas.

A segunda figura mostra imagens de satélite que registram a Antártica em um intervalo de tempo de 36 anos, evidenciando como o território está sendo afetado pelas mudanças climáticas. Ao realizar uma comparação entre as imagens, é possível perceber uma redução significativa da cobertura de gelo, o que indica o avanço do processo de derretimento das geleiras. Esse fenômeno está diretamente relacionado ao aumento das temperaturas globais e tem consequências graves, como a elevação do nível do mar e a alteração dos ecossistemas marinhos e terrestres.

A terceira imagem mostra a mudança do gelo ártico marinho em um intervalo de 35 anos, revelando uma redução acentuada de sua extensão e espessura. Essa transformação não apenas acelera o derretimento, mas também intensifica o aquecimento global, já que a diminuição da área congelada reduz a capacidade de reflexão da radiação solar (albedo). Além disso, afeta profundamente os ecossistemas da região e ameaça espécies que dependem do gelo para sua sobrevivência.

A quarta imagem mostra a mudança do gelo ártico marinho ao longo dos anos, evidenciando uma tendência clara de redução tanto em extensão quanto em espessura. Esse fenômeno é resultado direto do aquecimento global, já que o Ártico aquece em ritmo mais acelerado do que a média do planeta.

Adicionalmente, estudos apontam que o derretimento acelerado na Antártica contribui diretamente para a instabilidade do sistema climático global, afetando correntes oceânicas, padrões de circulação atmosférica e, consequentemente, eventos extremos em diversas partes do planeta. Assim, a análise detalhada das geleiras não se restringe apenas ao ambiente polar, mas se conecta de maneira direta ao equilíbrio climático mundial.

O gráfico 2 mostra uma tendência clara e preocupante de aceleração no derretimento das geleiras ao longo das últimas décadas. É possível observar uma

redução contínua no volume de gelo, com quedas mais acentuadas a partir da segunda metade do século 20, coincidindo com o aumento das emissões de gases de efeito estufa e o aquecimento global. Essa perda de massa glacial não apenas contribui para a elevação do nível do mar, mas também afeta diretamente ecossistemas, recursos hídricos e comunidades que dependem do derretimento sazonal para o abastecimento de água. O gráfico evidencia, portanto, um dos impactos mais visíveis das mudanças climáticas em curso.

Diante das estatísticas analisadas, fica evidente que o ritmo acelerado do derretimento das geleiras não é apenas um alerta climático, mas um reflexo direto do impacto das atividades humanas sobre o equilíbrio natural do planeta. O aumento constante das temperaturas globais, aliado à intensificação de eventos extremos, reforça a urgência de ações concretas para mitigar a emissão de gases de efeito estufa e promover medidas de adaptação. Assim, os números não se limitam a dados frios, mas revelam uma realidade que afeta ecossistemas inteiros, comunidades costeiras, tornando indispensável uma resposta coletiva e imediata.

Gráfico 2

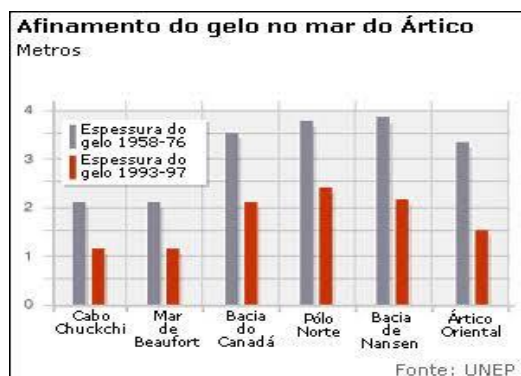


Gráfico : gráfico que mostra afinamento da espessura de gelo no mar ártico. Disponível em: <http://www.aruanda.org/noticiaspecial.asp> Acessado em: 12/08/2025

O gráfico a seguir apresenta uma análise global da perda de massa de gelo em diferentes regiões do mundo, destacando a intensidade do derretimento das geleiras entre 2000 e 2023. Cada região é representada por um círculo que corresponde à massa de gelo, acompanhado de gráficos de barras que indicam as variações anuais. Observa-se que áreas como Nova Zelândia, América do Norte ocidental e o sudoeste da Ásia registram perdas significativas, enquanto regiões como a Antártida apresentam variações menores. As cores azul e vermelha indicam aumento ou perda de massa de gelo, permitindo observar claramente onde o derretimento é mais acentuado. O percentual dentro de cada círculo evidencia a proporção de gelo perdida em relação à massa inicial, destacando regiões críticas.

Globalmente, a tendência é de perda contínua, evidenciando o impacto das mudanças climáticas no gelo do planeta.

Além disso, o gráfico revela diferenças regionais marcantes: enquanto o Ártico e a Groenlândia apresentam derretimento acelerado, partes da Antártida e da Rússia mostram variações menos impactantes. A perda de gelo na América do Norte e na Europa central também é significativa, sugerindo que regiões habitadas sofrem impactos ambientais diretos, como aumento do nível do mar e alterações nos ecossistemas locais. A representação gráfica visual facilita a comparação entre diferentes regiões, mostrando que o aquecimento global não afeta todas as regiões da mesma forma. Esta imagem, portanto, evidencia a urgência de medidas globais de mitigação, ressaltando que a preservação das geleiras é crucial para manter o equilíbrio do planeta.

Gráfico 3

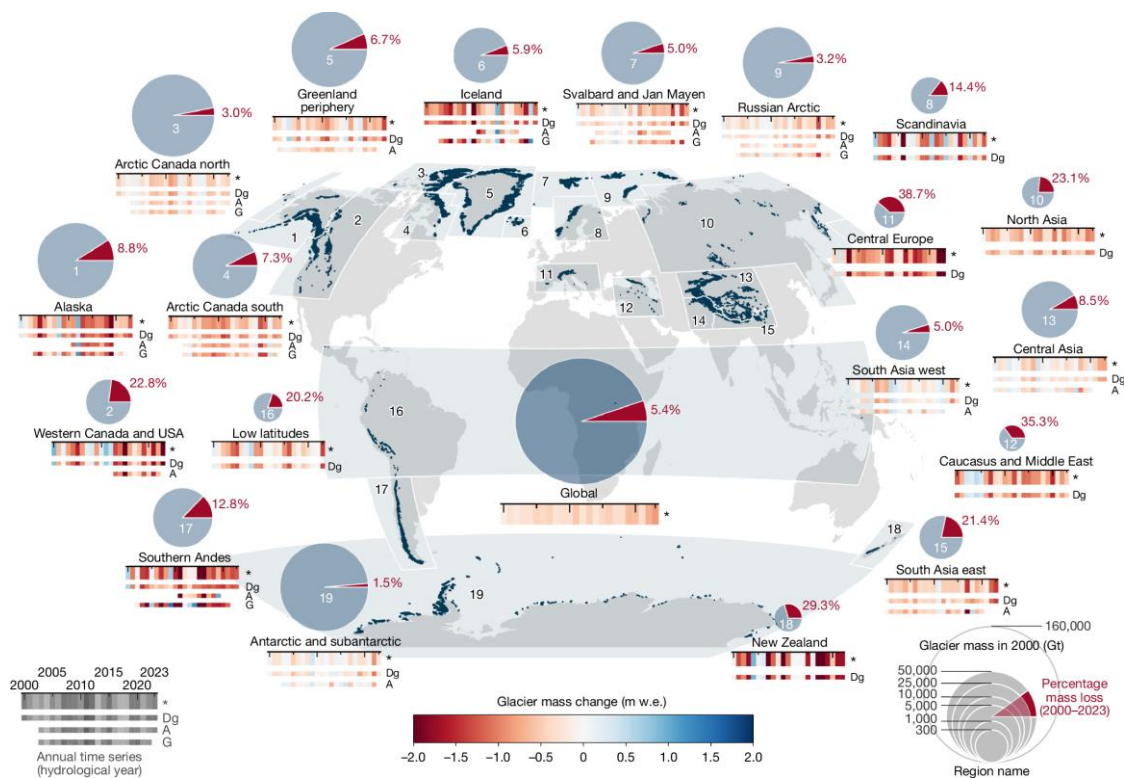


Gráfico : gráfico que mostra uma comparação global da perda massiva de gelo. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2025/08/01/derretimento-de-geleiras-esta-acelerando-em-todo-o-mundo/> Acessado em: 12/08/2025

O gráfico apresenta a variação anual da massa de gelo das geleiras do mundo, medida em gigatoneladas, entre os anos de 2000 e 2023. Observa-se uma tendência contínua de perda de gelo ao longo dos anos. Nos primeiros anos do período

analisado, a redução anual era inferior a 200 gigatoneladas, mas a partir de 2010 essa perda se intensifica, ultrapassando frequentemente 300 gigatoneladas por ano. Por volta de 2020, os valores atingem níveis altíssimos, chegando a aproximadamente 600 gigatoneladas perdidas anualmente. Essa aceleração evidencia o impacto crescente das mudanças climáticas, especialmente do aquecimento global, sobre os ecossistemas polares e glaciais.

Além de demonstrar a magnitude da perda, o gráfico destaca a constância do fenômeno, já que em nenhum ano houve ganho significativo de massa de gelo. Essa tendência reforça o desequilíbrio no balanço de gelo global, resultado direto do aumento das temperaturas médias e de alterações nos padrões de precipitação. O derretimento acelerado contribui para a elevação do nível do mar e ameaça comunidades costeiras em todo o planeta. Dessa forma, o gráfico serve como um importante alerta visual sobre a urgência de políticas ambientais mais eficazes e ações coletivas que reduzam as emissões de gases de efeito estufa, buscando desacelerar o ritmo do aquecimento e preservar o equilíbrio climático.

Gráfico 4



Gráfico : gráfico que mostra o derretimento das geleiras em gigatoneladas. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/ciencia/402953-geleiras-perderam-273-bilhoes-de-toneladas-de-gelo-por-ano-de-2000-a-2023.htm> Acessado em: 12/08/2025

O gráfico apresenta um histórico das principais pandemias que afetaram a humanidade, indicando o número estimado de mortes e o período de ocorrência de cada uma. É possível observar que pandemias como a Peste Negra, no século 14, a Gripe Espanhola, 1918, e o HIV/AIDS, nas décadas de 1980 até os dias de hoje tiveram impactos significativos, com milhões de mortes. Já eventos mais recentes, como a pandemia de COVID-19, também evidenciam o a capacidade do mundo de erradicar doenças em um mundo cada vez mais tecnológico. Essa linha do tempo mostra que, embora os avanços científicos tenham reduzido a mortalidade em alguns

casos, novas pandemias continuam surgindo, impulsionadas por diversos fatores, entre eles temos os ambientais, sociais e climáticos.

Gráfico 5

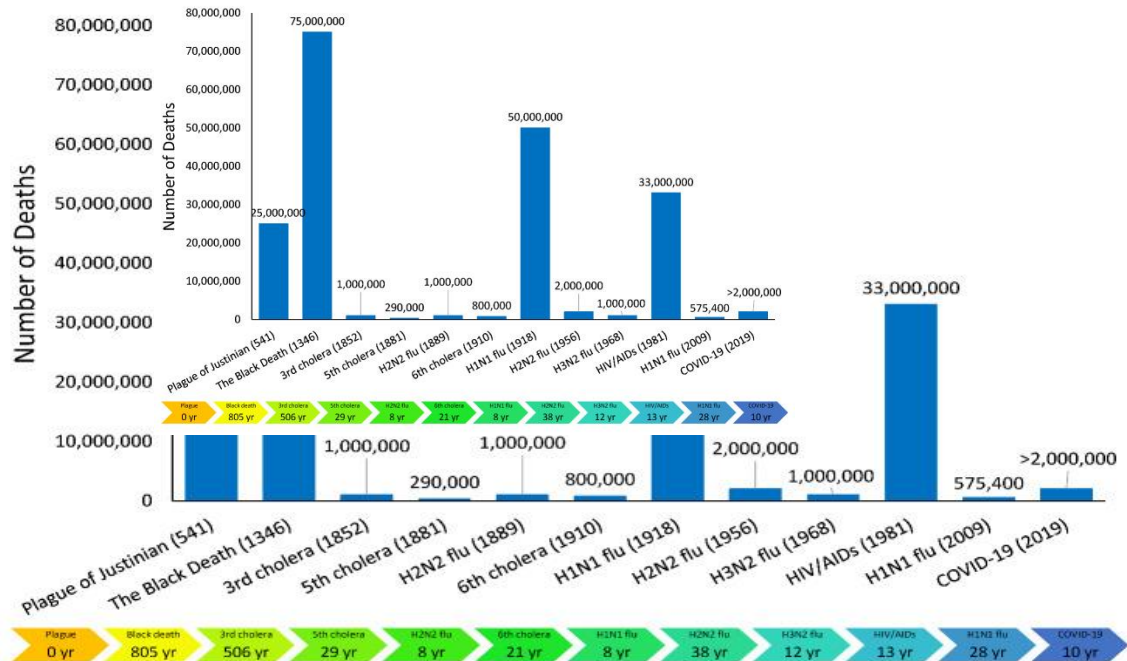


Gráfico : gráfico que mostra as pandemias, apresentando data e número de mortes. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8957694/figure/F1/> Acessado em: 12/08/2025

Ao relacionar o gráfico das pandemias com o derretimento das calotas polares, é possível perceber uma conexão indireta, porém preocupante. O aquecimento global e o descongelamento das geleiras podem liberar diversos vírus e bactérias que podem estar adormecidos há milhares de anos, como já alertam estudos recentes sobre microrganismos preservados no gelo. Além disso, o desequilíbrio climático provocado pelo derretimento do gelo tem a capacidade de alterar habitats naturais e força a migração de espécies, aumentando o contato entre humanos e agentes patogênicos desconhecidos. Assim, a crise ambiental e a crise sanitária de forma indireta se relacionam, tendo em vista que a perda da massa de gelo apresenta um alto potencial de desencadear novas ameaças epidemiológicas.

A figura apresenta um mapa das mudanças no Ártico, destacando novas rotas marítimas e a exploração de recursos naturais na região. Com o acelerado derretimento das geleiras, surgem passagens antes bloqueadas pelo gelo. Essa transformação geográfica está alterando a dinâmica econômica global, facilitando o transporte marítimo, mas também abrindo espaço para disputas territoriais e exploração intensiva dos recursos naturais do Ártico.

Figura 18

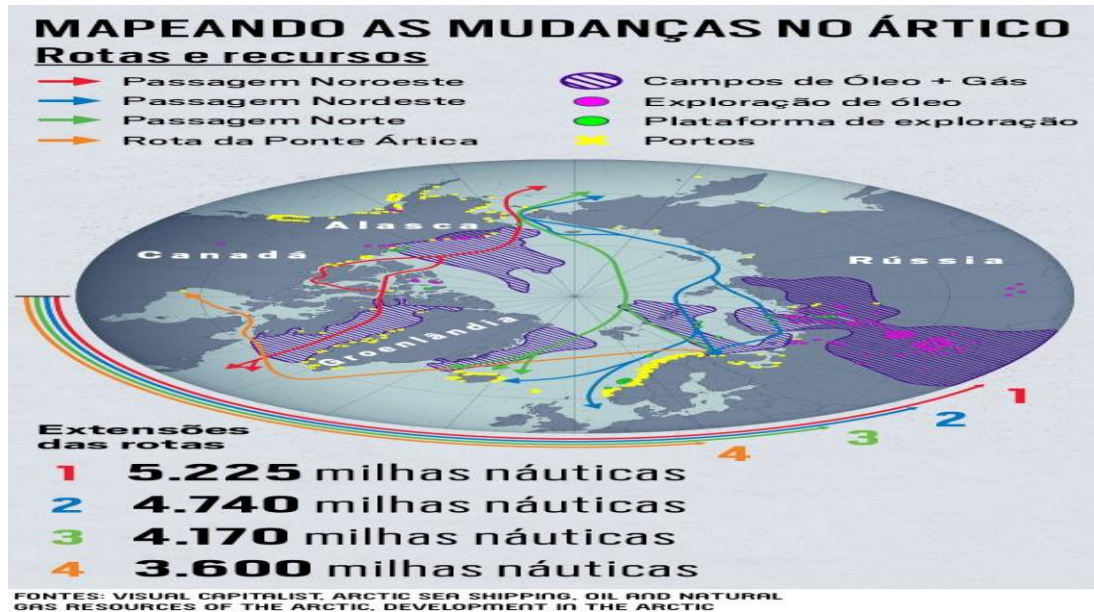


Figura: mapa que mostra as alterações no Ártico. Disponível em: <https://epocanegocios.globo.com/Revista/noticia/2020/12/nova-guerra-fria-derretimento-das-geleiras-do-artico-desperta-interesse-dos-paises-por-recursos-naturais.html#> Acessado em: 12/08/2025

Além das rotas comerciais, o mapa evidencia o avanço da exploração de petróleo e gás natural na região. As áreas em roxo representam campos de óleo e gás, enquanto os pontos verdes e roxos indicam plataformas e zonas de exploração ativa. Esse aumento da atividade industrial no Ártico está diretamente ligado a perda do gelo, que expõe novas áreas que antes eram inacessíveis. No entanto, essa exploração apresenta sérios riscos ambientais, como possíveis vazamentos de petróleo, interferência em ecossistemas vulneráveis e liberação de gases de efeito estufa. Assim, o derretimento que abre oportunidades econômicas também intensifica os impactos climáticos.

Por fim, a figura reflete a crescente importância geopolítica do Ártico. Países como Rússia, Canadá e Estados Unidos competem por controle de rotas e acesso a recursos energéticos, o que pode gerar tensões internacionais. O aquecimento global, portanto, não é apenas uma questão ambiental, mas também estratégica e econômica. Dessa forma, o mapa serve como um alerta que evidencia que o avanço humano sobre o gelo derretido pode trazer benefícios imediatos, mas ameaça profundamente o equilíbrio climático da Terra.

O gráfico apresenta um corte longitudinal da Antártica, mostrando o relevo escondido sob a espessa camada de gelo que cobre o continente. É possível observar duas grandes regiões, sendo elas a Antártica Ocidental, onde o terreno, em sua grande parte se encontra abaixo do nível do mar, e a Antártica Oriental, com altitudes mais elevadas. A linha azul representa a superfície do gelo, que em muitos pontos ultrapassa 3.000 metros de espessura. Essa ajuda a compreender por que algumas áreas são mais vulneráveis ao derretimento acelerado causado pelas mudanças climáticas.

Gráfico 6:

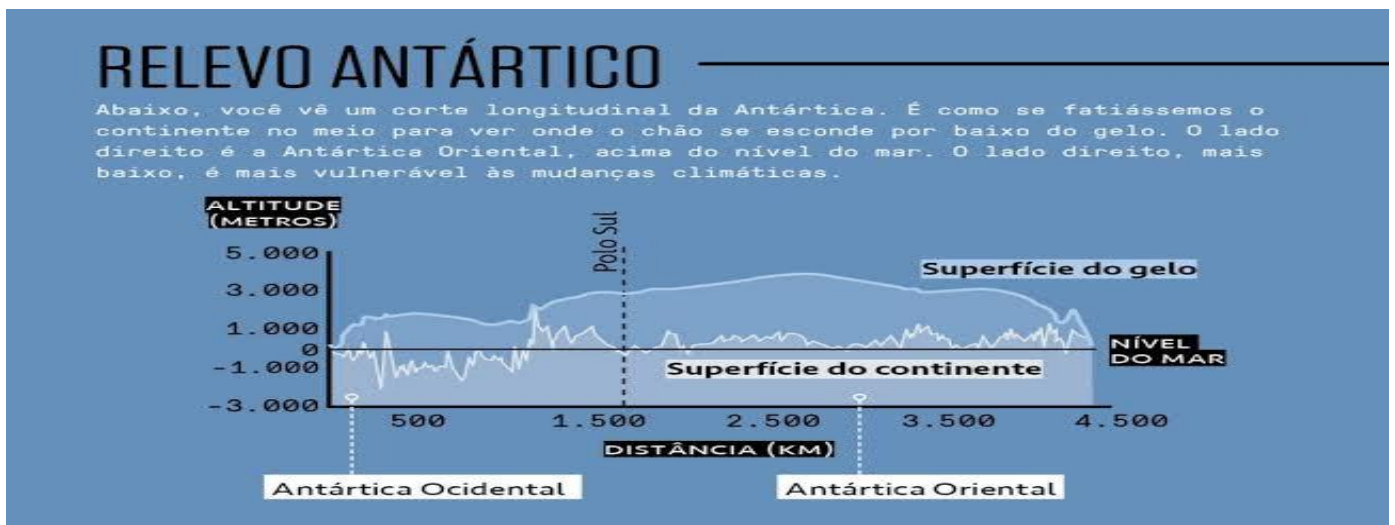


Figura 2: gráfico que mostra a vulnerabilidade das geleiras da Antártica em relação às mudanças climáticas. Disponível em: <https://super.abril.com.br/ciencia/thwaites-geleira-do-fim-do-mundo-pode-elevar-nivel-do-mar-em-70-cm/> Acessado em: 12/08/2025

A Antártica Ocidental, localizada à esquerda do gráfico, é a mais sensível ao aquecimento global, pois seu subsolo está abaixo do nível do mar e em contato direto com correntes oceânicas quentes. Esse fator favorece o derretimento pela base das geleiras, o que acelera a perda de massa de gelo e contribui para o aumento do nível dos oceanos. Já a Antártica Oriental, mais elevada, apresenta maior estabilidade, mas estudos recentes indicam que até mesmo essa região tem mostrado sinais de aquecimento e retração do gelo em suas bordas costeiras.

O gráfico também ilustra a importância de compreender o relevo subglacial na previsão dos impactos climáticos futuros. A topografia determina como o gelo se movimenta e derrete, influenciando diretamente o fluxo de água para os mares. À medida que o gelo da Antártica Ocidental se reduz, a contribuição para o aumento do nível do mar pode se tornar irreversível, intensificando eventos extremos como inundações costeiras e perda de habitats. Assim, o relevo antártico, mais do que um dado geográfico, é um alerta visual sobre a vulnerabilidade do continente e o papel decisivo que ele desempenha na regulação climática do planeta.

A figura apresenta uma comparação de um território ártico entre os anos de 1984 e 2020, mostrando claramente os efeitos visíveis do aquecimento global ao longo de 36 anos. Em 1984, conseguimos observar uma vasta cobertura de gelo, indicando temperaturas mais baixas, o que consequentemente gera a estabilidade das geleiras. Já em 2020, a paisagem mostra uma redução extensa e preocupante dessa camada, mostrando áreas que antes eram cobertas por gelo e agora aparecem expostas, com solo visível. Essa transformação evidencia o derretimento acelerado do Ártico, resultado direto do aumento das temperaturas médias globais e da intensificação do efeito estufa.

Figura 19:



Figura 3: comparação entre um território ártico entre um intervalo de tempo de 36 anos. Disponível em: <https://umsoplaneta.globo.com/clima/noticia/2021/04/16/nova-ferramenta-mostra-quase-40-anos-de-mudancas-climaticas-em-instantes.ghtml#> Acessado em: 12/08/2025

Além da perda estética e geográfica, a figura simboliza profundas consequências ambientais e climáticas. O derretimento do gelo ártico não apenas contribui para o aumento do nível dos mares, mas também altera o equilíbrio térmico do planeta, pois o gelo, que antes refletia a radiação solar, agora dá lugar a superfícies escuras que absorvem calor. Isso intensifica o aquecimento global em um ciclo vicioso conhecido como retroalimentação climática. A imagem, portanto, não é apenas um registro histórico, mas um alerta visual contundente sobre a urgência de reduzir emissões e proteger os ecossistemas polares, fundamentais para a regulação climática global.

A figura compara a extensão e a idade do gelo marinho no Ártico entre março de 1985 e março de 2017, revelando uma redução significativa da área coberta por gelo antigo e espesso. Em 1985, observa-se uma grande extensão de gelo,

representado pelas tonalidades mais claras no mapa. Já em 2017, o cenário é preocupante, mostrando que a maior parte do gelo antigo desapareceu. Essa transformação evidencia o aquecimento rápido da região, impulsionado pelo aumento global das temperaturas.

A perda do gelo antigo tem consequências profundas para o equilíbrio climático do planeta. O gelo espesso atua como um isolante natural e reflete grande parte da radiação solar, ajudando a manter o Ártico frio. Com sua redução, o oceano absorve mais calor, acelerando ainda mais o derretimento, um processo que intensifica o aquecimento global. Além disso, a diminuição do gelo afeta ecossistemas locais, ameaçando espécies como ursos-polares e focas, e abre novas rotas marítimas e áreas de exploração econômica, ampliando os riscos ambientais. Assim, a figura evidencia como, em apenas 35 anos, a estabilidade do gelo ártico foi drasticamente comprometida, tornando-se um dos sinais mais visíveis e preocupantes da crise climática.

Figura 20:

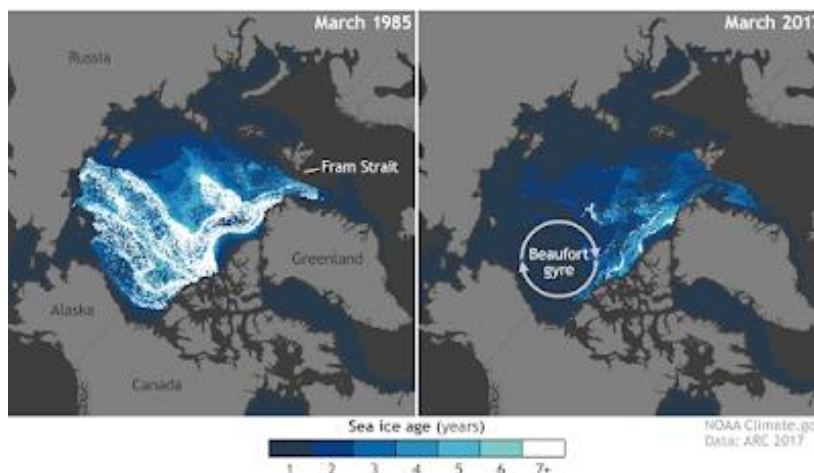


Figura 4: gráfico que mostra a mudança do gelo ártico marinho em um intervalo de tempo de 35 anos. Disponível em: <https://www.cienciaeclima.eco.br/2017/12/5-graficos-de-mudancas-no-artico.html> Acessado em: 12/08/2025

O Gráfico mostra a perda cumulativa de massa de gelo na Antártida entre os anos de 2002 e 2023, revelando uma tendência contínua e acentuada de diminuição. Observa-se que, ao longo desse período de 21 anos, a quantidade de gelo perdido aumentou progressivamente, com a curva apresentando uma inclinação cada vez mais acentuada a partir de 2010, o que indica uma aceleração no derretimento das geleiras antárticas. Essa tendência está diretamente relacionada ao aquecimento global, que tem provocado o aumento das temperaturas oceânicas e atmosféricas, comprometendo a estabilidade das plataformas de gelo. A perda cumulativa ultrapassa os 3.000 gigatoneladas, o que representa uma contribuição significativa

para a elevação do nível do mar e evidencia a urgência de ações climáticas para conter o avanço do degelo polar.

Gráfico 6:

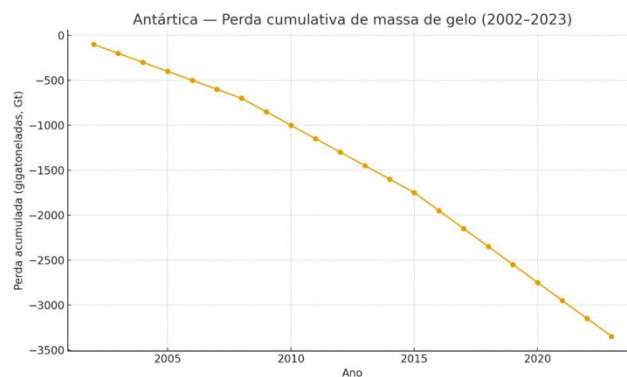


Gráfico 2: GRÁFICO feito com ajuda de inteligência artificial para mostrar a quantidade de gelo perdido na Antártica em um período de tempo de 21 anos

As análises dos gráficos e imagens apresentados revelam informações e dados preocupantes a respeito do derretimento acelerado das geleiras nas regiões polares, tanto no Ártico quanto na Antártida. As comparações temporais, como nas figuras que mostram o recuo e a perda do gelo entre 1984 e 2020 e a redução da espessura e extensão do gelo ártico, evidenciam uma transformação profunda do sistema climático. Esses dados apontam que as mudanças climáticas estão a dinâmica das calotas polares, afetando rotas marítimas, ecossistemas e o equilíbrio térmico do planeta. O aumento das áreas de exploração e transporte nas regiões polares, como mostrado nos mapas do Ártico, também reflete uma possível realidade geopolítica impulsionada pelo degelo um fenômeno que, embora crie oportunidades econômicas, intensifica riscos ambientais globais.

Além disso, os gráficos sobre o relevo antártico e a perda cumulativa de gelo entre 2002 e 2023 demonstram que o derretimento não ocorre de forma segmentada, sendo mais intenso nas regiões com altitudes mais baixas. O gelo mais antigo e espesso, que atua como um regulador térmico e climático, está desaparecendo rapidamente, o que compromete a capacidade do planeta de refletir a radiação solar e agrava o aquecimento global. Essa mudança climática contribui para o aumento do nível dos mares e para eventos climáticos extremos em escala global, como tempestades, secas e ondas de calor mais intensas.

Diante dessas evidências, conclui-se que o degelo das regiões polares representa uma ameaça direta e indireta à saúde humanitária. O aumento do nível do mar coloca em risco populações costeiras, podendo provocar migrações forçadas e

perda de territórios habitáveis. Além disso, o desequilíbrio climático favorece a proliferação de doenças, a escassez de recursos naturais e a insegurança alimentar, afetando especialmente comunidades mais vulneráveis. Portanto, as mudanças observadas nas últimas décadas não são apenas um alerta ambiental, mas um chamado urgente à ação global para mitigar os efeitos do aquecimento e preservar as condições essenciais à vida humana no *planeta*.

5. Conclusão

O derretimento acelerado das geleiras no Ártico e na Antártida é um dos fenômenos mais alarmantes do século 21. As imagens e gráficos analisados mostram uma perda contínua e significativa de massa de gelo ao longo das últimas décadas, evidenciando o impacto direto do aquecimento global nas regiões polares. Essa transformação, além de alterar o equilíbrio climático da Terra, está despertando crescente preocupação científica quanto aos efeitos indiretos desse processo sobre a saúde humana. Entre os impactos mais perigosos, a possibilidade do reaparecimento de vírus e bactérias adormecidos há muito tempo no permafrost é uma das que mais se destaca, o que representa um risco potencial de novas epidemias e até pandemias.

As geleiras funcionam basicamente como conservadoras de organismos celulares, podendo preservar microrganismos, vírus e fungos. Com o derretimento acelerado, esses agentes patogênicos, que antes estavam isolados, podem voltar a entrar em contato com o meio ambiente e, conseqüentemente, com o ser humano. O problema é cada vez mais intensificado pela expansão de atividades humanas nas regiões polares, como exploração de petróleo, gás e novas rotas comerciais evidenciadas nos mapas do Ártico analisados. À medida que o gelo recua, o acesso humano a áreas antes inacessíveis aumenta, intensificando o contato com camadas de gelo derretido. Essa aproximação entre o homem e essas camadas de gelo derretida cria um ambiente onde microrganismos que antes estavam adormecidos agora estão expostos, esse contato desses organismos com o ser humano pode significar um grande problema para a saúde global.

Além do risco biológico direto, o derretimento das geleiras também contribui para alterações ecológicas profundas que podem favorecer epidemias. O aumento das temperaturas nas regiões frias está permitindo a migração de vetores, como mosquitos e roedores, para zonas antes geladas. Isso pode resultar na disseminação de doenças como malária, dengue e hantavirose em áreas do norte do planeta onde antes não existiam. Assim, o colapso do gelo polar não apenas liberta microrganismos antigos, mas também transforma os ecossistemas em ambientes propícios para a propagação de doenças já conhecidas.

A perda do gelo antigo, como mostraram os dados de espessura e volume das geleiras do Ártico, tem um papel direto no equilíbrio climático do planeta. O gelo reflete

grande parte da radiação solar, mantendo o planeta mais frio. Com a sua diminuição, ocorre o chamado efeito albedo, no qual menos gelo significa mais absorção de calor pelos oceanos, acelerando o aquecimento global. Esse ciclo intensifica eventos climáticos extremos, como ondas de calor, secas e inundações, que por sua vez criam condições sanitárias precárias e favorecem o surgimento de epidemias, especialmente em regiões vulneráveis e com infraestrutura limitada.

Do ponto de vista epidemiológico, é importante compreender que o degelo não representa apenas a liberação de antigos patógenos, mas também forçam uma quebra na barreira natural, que basicamente mantém o equilíbrio entre espécies e ecossistemas. À medida que habitats se transformam, animais silvestres são forçados a migrar e se aproximar de zonas urbanas, aumentando o risco de transmissão de vírus. Essa interação ecológica, impulsionada pelo aquecimento polar, pode resultar em novas cadeias de infecção entre espécies, ampliando o risco de doenças.

A Antártida, conforme mostrado no gráfico da perda cumulativa de massa de gelo, também apresenta um derretimento acelerado nas últimas duas décadas. Embora isolada, essa região abriga importantes colônias de aves e mamíferos marinhos, cuja saúde está sendo comprometida pela alteração do habitat e pela contaminação de micro-organismos transportados pelas correntes oceânicas. Isso reforça o caráter global das consequências do degelo, pois o oceano Antártico interage diretamente com os sistemas climáticos e biológicos de todo o planeta.

Os riscos humanitários decorrentes do degelo vão além da saúde física. O aumento do nível do mar ameaça comunidades costeiras inteiras, forçando deslocamentos populacionais e criando grupos de refugiados climáticos. A insegurança alimentar e hídrica, somada ao potencial aumento de doenças infecciosas, forma um cenário de crise, que exige cooperação internacional, investimentos em vigilância epidemiológica e políticas de mitigação climática. Ignorar o vínculo entre o derretimento das geleiras e a saúde pública seria negligenciar uma das maiores ameaças existenciais do nosso tempo.

Conclui-se, portanto, que o derretimento das geleiras não é apenas um sinal visível do aquecimento global, mas um alerta biológico e humanitário. Ele revela como a instabilidade ambiental pode desencadear efeitos em cadeia, desde o surgimento de novos vírus até crises sanitárias globais. A ciência já oferece evidências sólidas de que a preservação do gelo polar é fundamental para a segurança do planeta, não apenas por razões climáticas, mas também pela proteção da saúde coletiva. Agir agora, com base no conhecimento científico e na cooperação entre nações, é essencial para evitar que o degelo se torne o ponto de partida de futuras epidemias com impactos incalculáveis para a humanidade.

REFERÊNCIAS

BIZERRA, A. P. C.; COUTINHO, S. C.; QUEIROZ, R. A. G. Sustentabilidade e meio ambiente: reflexões sobre os impactos da ação humana. 2018.

Blank, D. M. P. (2015). *The context of climate change and its victims*.

CURY, Juliano de Carvalho. A importância dos estudos envolvendo microrganismos da Antártica. *INFOCIRM*, v. 25, n. 3, 2013.

FONSECA, Jorge Lopes da. *O Ártico e as alterações climáticas*. 2013.

GIACOMETTI, A.; DOMINSCHKE, A. A relação homem-natureza: reflexões a partir da Revolução Industrial. *Revista Educação Ambiental em Ação*, v. 63, 2018.

GUIDETTI, R. *et al.* Effects of anoxia on tardigrades. *Journal of Experimental Biology*, v. 214, n. 24, p. 4123–4129, 2011.

HENGHERR, S. *et al.* High-temperature tolerance in anhydrobiotic tardigrades is limited by glass transition. *Physiological and Biochemical Zoology*, v. 82, n. 6, p. 749–755, 2009.

HENGHERR, S. *et al.* Trehalose and anhydrobiosis in tardigrades—evidence for a limited role. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological Genetics and Physiology*, v. 307, p. 62–70, 2008.

JÖNSSON, K. I. Radiation tolerance in tardigrades: current knowledge and potential applications. *Astrobiology*, v. 19, n. 3, p. 309–316, 2019.

JÖNSSON, K. I. *et al.* Tardigrades survive exposure to space in low Earth orbit. *Current Biology*, v. 18, n. 17, p. R729–R731, 2008.

LEETHAM, J. W.; MCKAY, C. P.; ROGERS, C. L. Tolerance of soil microorganisms to desiccation and toxic chemicals. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 44, n. 4, p. 702–707, 1982.

REBECCHI, L.; ALTIERI, E.; GUIDETTI, R. Anhydrobiosis: the extreme limit of desiccation tolerance in tardigrades. *Integrative and Comparative Biology*, v. 47, n. 5, p. 615–625, 2007.

REUNER, A. *et al.* Stress response in tardigrades: differential gene expression of molecular chaperones. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, v. 156, n. 2, p. 253–258, 2010.

SCHILL, R. O. *Tardigrades: Systematics, Biology and Ecology*. Berlin: Springer, 2010.

SOMME, L. Anhydrobiosis and cold tolerance in tardigrades. *European Journal of Entomology*, v. 93, p. 349–357, 1996.

VARGHA, G.; FERENCZ, Á.; FÜLEP, T. Toxicity tolerance in microscopic organisms. *Environmental Toxicology and Chemistry*, v. 21, n. 5, p. 1028–1033, 2002.

WRIGHT, J. C. Desiccation tolerance and water-retentive mechanisms in tardigrades. *Journal of Experimental Biology*, v. 142, p. 267–292, 1989.

KRENAK, Ailton. *Ideias para adiar o fim do mundo*. 3. ed. São Paulo: Companhia das Letras, 2020

LAYRARGUES, P. P. Educação ambiental e pandemia: o que a COVID-19 nos revela sobre a crise ecológica. *Revista Brasileira de Educação Ambiental*, v. 15, n. 3, 2020.

NOBRE, Carlos A.; REID, Julia; VEIGA, Ana Paula Soares. *Fundamentos científicos das mudanças climáticas*. São José dos Campos, SP: Rede Clima/INPE, 2012. 44 p.

NOBRE, Carlos A. Mudanças climáticas globais: possíveis impactos nos ecossistemas do país. p. 1-20, 2001.

SILVA, Carlos Henrique R. Tomé. Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável no Brasil. Núcleo de Estudos e Pesquisa. Consultoria Legislativa.

SUDA, F.; SANTINI, M.; RODRIGUES, J. Mudanças climáticas e o derretimento das geleiras na Antártica. *Revista Científica Interdisciplinar*, v. 3, n. 1, p. 1-12, 2019.

FONSECA, Jorge Lopes da. O Ártico e as alterações climáticas. 2013.

ANEXO (Entrevista)

Pedro: Opa, boa tarde, tudo bem? Como você deve saber, eu me chamo Pedro, sou aluno do Evandro e como eu já falei também, o meu trabalho pretende analisar como o derretimento das geleiras está associado ao possível aumento das pandemias e epidemias. E em várias reuniões que eu e o Evandro a gente fez, que a gente realizou para poder fazer o trabalho, em uma delas ele mencionou você como uma possível forma de pesquisa, porque você é uma pessoa que trabalha na Antártica e você vive nessa realidade, você sabe como funciona esse território, sabe o impacto do derretimento das geleiras, você é uma pessoa que vivencia isso, Então, eu gostaria de saber, primeiramente, como você está, se está tudo certo, e se você pode me ajudar nesse trabalho, de que maneira você acha que isso impacta, por que você decidiu seguir para essa área, se você puder responder, está ótimo. Obrigado. Muito obrigado por ter aceitado o trabalho, aceitar fazer essa entrevista.

Pedro: Aí, como eu já falei, eu gostaria de fazer algumas perguntas só para começar. A primeira delas é saber se você acha que, de fato, o derretimento das geleiras tem um impacto. E se você puder também, só para acrescentar, responder o porquê, trazer algumas explicações suas do porquê há um impacto. Também gostaria de saber por que você escolheu a Antártica para ser um trabalho. Eu gostaria de saber por que você quis puxar para essa área e se você puder me responder vai ser ótimo.

Emanuele: Oi, Pedro, tudo bem cara? Bom dia ou boa tarde para você, né? Desculpa cara, ontem eu me atolei de coisa para fazer aqui, não vi o tempo passar e acabei esquecendo de responder, tá? Mas então, vamos lá. Eu sou a Ema, né? Emanuele Kuhn. Se você procurar alguma coisa na internet, se você precisar de alguma coisa a mais, é só botar lá no Google que você acha um pouco mais da biografia. mas do porquê Antártica, né? Primeira pergunta que você fez. Então, eu sempre fui fascinada, desde os 13 anos de idade, com bactérias, tá? Eu li uma reportagem falando sobre uma bactéria comedora de carnes, e aí eu fiquei... a facite necrosante, né? A gente chama bactéria comedora de carne porque ela é uma infecção que a gente pega, chama facite necrosante, e a gente pega essa bactéria e ela... literalmente, ela... apodrece o músculo. Ela come a fáscia, ela inflama a fáscia, que é uma membrana no músculo. E pode matar um ser humano em 24 horas. Então, isso me chamou para microbiologia. Fui fazer microbiologia na URGs, na Federal do Rio Grande do Sul. E dentro da microbiologia, eu primeiro queria estudar muito a parte clínica, mas aí eu aprendi sobre bactérias do meio ambiente, que a gente chama de microbiologia ambiental, que, graças aos micro-organismos do planeta, a vida do planeta existe, porque são eles que fazem a ciclagem de todos os nutrientes. Quando a gente fala de planta, a planta faz fotossíntese. Só que a planta só consegue fazer fotossínteses porque o nitrogênio que ela tem, que ela recebe do solo, está associado a bactérias que fixam o nitrogênio para a planta. Nosso corpo, se a gente pensar, a gente é muito mais célula microbiana do que célula humana. Então, micro-organismos não são só os patogênicos. Todo mundo pensa em micro-organismos quando a gente tá doente. E eles é que fazem a ciclagem de todos os nutrientes do planeta e, graças a eles, a gente está aqui. Até mesmo graças à evolução, todo mundo evoluiu de um único micro-organismo, de uma célula única de micro-organismos, e a gente está aqui hoje. E dentro da microbiologia ambiental, eu aprendi sobre extremófilos, vidas em ambientes extremos. Aí vai de super temperaturas de 113 graus Celsius a menos 20

graus super salinidade, ácidos alcalinos, barofílicos. E a gente chama esses de extremotilos, que também é ambiente de super extremos. Você encontra em micro-organismos. E se você vê nesse contexto em relação à possibilidade de vida fora da Terra, a gente achando um ambiente semelhante fora do nosso planeta e semelhante a um ambiente extremo do nosso planeta, e a gente sabe que aqui existe vida, por que não existe vida fora do planeta? E aí isso me levou à astrobiologia. Então a minha evolução foi de microclínica para microbiologia ambiental, para extremófilos, para astrobiologia e nessa interação astrobiologia e extremófilos, eu fiquei fascinada por ambientes polares, né? Vida em baixíssimas temperaturas. Não só frio, né? A gente chama de psicofílicos, com PS no início, psicofílicos, que são organismos que vivem abaixo de 15 graus Celsius. Esse é o ótimo para eles, né? Que eu me considero uma, né? Porque 18 graus para mim, cara, eu já tô... Já estou desesperada de calor. Então, com isso tudo me levou para a Antártica. Eu fui fazer... Depois que eu me formei na graduação da Biologia na Federal do Rio Grande do Sul, eu fui para a USP para fazer mestrado e trabalhar com o Programa Antártico Brasileiro, que foi a primeira vez que eu fui para a Antártica, em 2005. E ali foi onde eu me encontrei. Ali a Antártica é minha casa, meu lugar. Eu acredito muito em... Desculpa, a gatinha apareceu aqui. Eu acredito muito em frequência, né? Tudo tá em vibração. E eu digo que Antártica é o local onde finalmente a minha frequência vibrou na mesma frequência que lá, né? Então, eu considero Antártica como minha casa, na verdade. O lugar que eu mais amo tá. E a partir disso, então, eu fiz... De 2005... A 2018, é mais ou menos isso, né? Eu fiz o meu estudo de pesquisa só em ambientes extremos de baixa temperatura, Antártica e ártico também. E em 2017, depois de terminar um pós-doutorado pela USP, eu decidi mudar a carreira. Em torno desse tempo, eu fiz o meu mestrado na USP, depois eu me juntei, apliquei para uma bolsa para os Estados Unidos, uma bolsa de doutorado pleno para os Estados Unidos para trabalhar com o programa antártico americano. E aí eu fui para McMurdo Station, a estação americana, na Antártica, trabalhei nos Dry Valleys, nos Vales Secos de McMurdo com um ambiente super extremo de um laao nos Drv Vallevs. sempre com esse foco de vida em ambientes extremos do planeta Terra e possibilidade de vida fora do planeta. Voltei para a USP, para um pós-doutorado, e isso me levou para pesquisar micro-organismos dentro da Antartica, então a gente passou um mês acampando próximo ao... próximo, pode falar, a 600 quilômetros do Polo Sul, dentro do platô da Antártica, também procurando por microrganismos, procurando e detectando vida. Então, realmente, a minha base científica e de pesquisa é entender vida em ambientes extremos de baixa temperatura, como detectar o que existe, interpretar o que existe, e se a gente encontra um ambiente semelhante fora do planeta, como seria, por exemplo, como é a lua de Júpiter chamada Europa, ou outras luas como a Encedalus, que é uma lua de Saturno, que são ambientes gelados, são crostas de gelo com um oceano de água líquida embaixo. Então lá é um lugar favorável para a existência de vida, do mesmo jeito que a gente tem na Antártica.

Emanuele: E aí você me perguntou do derretimento de calotas, né? E da Antártica, o que isso está acontecendo, se realmente está acontecendo. Eu fiz uma mudança de carreira em 2017, que eu decidi sair da universidade, sair da pesquisa acadêmica e ir mais para divulgação e ensino. Então foi em 2017 que eu me juntei à Quark Expeditions, que é, uma empresa americana. Desde lá, então, eu venho fazendo expedições para o Antártico e para o Ártico com passageiros. Não chega a ser turismo, é uma expedição, é diferente. A gente sai com os passageiros o máximo

possível para fora do navio, faz caminhadas, dirige botes, vê baleias, vê focas, vê pinguins na Antártica, vê urso polar no Ártico e tem toda essa experiência com eles nesses ambientes. mas ao mesmo tempo tem a parte educacional, de dar as palestras a bordo e conscientizar, não só ensinar esses passageiros sobre cada organismo, cada ambiente que a gente foi visitar com eles, mas também trazer a consciência e a ciência para essas pessoas de quão frágil são esses ambientes. E aí que veio uma grande mudança nesses oito anos agora fazendo isso, que eu mudei bastante o meu enfoque para a conservação de regiões polares, né, Pedro? que é o que mais está sendo afetado com as mudanças do planeta, especialmente a parte de mudanças da temperatura, que a gente chama de aquecimento global, e o que está sendo mais afetado são a Antártica e Ártico, o Ártico principalmente, que a gente está agora em um nível de derretimento sem volta, E não é só uma questão de aumentar níveis de oceano, perdendo esse gelo todo, mas muda a química do oceano. E aí você muda a química do oceano, você muda a receita de onde vive grande parte dos seres vivos do planeta Terra. E não dá tempo para eles se adaptarem, eles vão morrer. E aí isso entra numa sexta extinção em massa. ou uma aniquilação feita pela existência do ser humano, que é o que está acontecendo agora.

E aí, só para terminar a questão do porquê dessa área, agora eu passei da parte de astrobiologia mais para a parte da conservação, então praticamente passada a parte de procura de vida fora do planeta para a parte de conservação do único tipo de vida, o único planeta que a gente sabe que vida existe, que é o planeta Terra. E é isso que eu me sinto como uma obrigação para a minha vida, tentar abrir os olhos dessas pessoas, levando-as para trabalhos de campo em ambientes polares, ártico e Antártica, para conscientizar elas da fragilidade desses ambientes e os animais que vivem nesses ambientes estão perdendo a casa deles, estão perdendo a comida deles. vão passar fome, vão morrer de fome, não vão conseguir mais ter filhotes, porque eles não conseguem sustentar mais os filhotes, vai entrar um grau de extinção desses outros animais, que a gente já sabe que já está em andamento, e a gente vai perder eles, né Pedro? Como provavelmente muita coisa aí que a gente... Não vou falar tudo... para não ser tão dramática. Mas a gente está a ponto de perder tudo mesmo no planeta, graças à ação humana.

Emanuele: E agora sua outra pergunta, né? De fato, o derretimento de geleiras tem um impacto gigantesco, cara. Gigantesco, tá? Então, deixa eu tentar resumir para você aqui o que acontece. A Antártica é um continente que é circundado, né? Por gelo, tá? É um gelo que ele... A gente não tá falando só de gelo marinho. Pensa num bolo com uma cobertura. Você vai botar aquela cobertura em cima do bolo e essa cobertura escorrega, né? Corre do topo de bolo pro prato, tá? Isso é o gelo da Antártica, tá? Então tem aí uma média de dois quilômetros de gelo em cima do continente da Antártica e aí tem esse escorrega desse gelo pra dentro do mar, que são as plataformas de gelo. que é formado de gelo que vem do gelo de cima da Antártica, que é gelo feito de neve que cai, forma geleira, a geleira corre para dentro do mar, forma plataforma de gelo, então é gelo que a gente chama de gelo de água doce, né? Fora isso, tem a formação de gelo marinho, que no inverno esse gelo todo ao redor do continente congela, que é a mesma coisa que acontece no Ártico. Só que o Ártico é um continente, é um oceano rodeado por continentes, e o Ártico tem um gelo marinho que estava há uns 40, 50 anos, tinha uma plataforma gigante de gelo marinho que mal... descongelava tá então a que a gente chama de o gelo multi ano é um gelo permanente perene né que é um gelo que não derrete, o gelo marinho que

não derrete por mais de quatro anos né de tem que passar na verdade dois verões sem derreter. Nada. E isso existia. Era um gelo super grosso. De quase 5 metros. E uma plataforma gigante desse gelo. Eu não vou lembrar de números agora. Mas você pode dar uma olhada depois na internet. Desse ártico. Do gelo marinho no ártico. Só que na minha existência de vida. Em 40 anos. A gente perdeu 95% desse gelo marinho no ártico. Derreteu. E a gente está indo... para provavelmente daqui no máximo uns 10 anos, a existência de somente gelo marinho do Ártico, que é o sazonal, que a gente chama, né? Que é o das estações, que forma no inverno e derrete no verão. E se você pensar, todos os organismos que existem em regiões polares, eles evoluíram com o gelo, Pedro. Evoluíram. A gente está falando de centenas de milhões de anos de evolução, né? para um urso polar existir, para um pinguim existir, para uma morse existir, para uma foca existir, para as baleias se deslocarem das regiões tropicais por quatro a seis meses sem se alimentar nada, só para se alimentar e comer criou, que é um camarãozinho pequenininho, principalmente no Antártico, mas no Ártico também, esses bichos gigantes migram até as regiões polares só para passar o verão inteiro comendo. E precisa disso. Que é outra situação. O Crio é uma situação muito problemática que a gente também está passando. Mas voltando para a geleira, tá? Então, o que acontece? Você está falando de geleiras. Então, você está falando dessa parte... Você está falando de Groenlândia e você está falando de Antártica, que são os lugares que têm essas... Essas geleiras com essas plataformas. Tem as geleiras alpinas também, mas essas não têm tanta variação do oceano. Claro que vai formar tudo rio e esse rio vai correr para o oceano. Mas você está falando dessas plataformas de gelo e dessas geleiras da Groenlândia e da Antártica que estão em contato direto com o oceano.

Emanuele: Para você ter uma ideia, Pedro, a quantidade de gelo que está sendo perdido da Antártica. Se você pensar em uma piscina olímpica, eu tenho que ver o volume de uma piscina olímpica, mas esse é o volume de gelo que está sendo perdido. Pega 3,5 piscinas olímpicas de gelo por segundo. está sendo perdido da Antártica. A Groenlândia são seis piscinas olímpicas por segundo de gelo sendo perdido. Isso é água fresca, água doce, fresh water, desculpa, tem umas terminologias aí que eu vou confundir com o inglês, tá? Mas isso é água doce que adentra o mar. Isso vai mudar a salinidade e do mar, primeira coisa, e toda a química do mar também. Então, sim, quando você fala de derretimento das geleiras, a primeira coisa que o ser humano pensa é aumento do nível do mar, porque a gente vai perder em costas. E seres humanos, principalmente os ricos, que são os que estão causando mais problema do planeta, não é os seres humanos em gerais, mas são os milionários e bilionários, que são normalmente os que têm o poder, porque eles são donos das coisas que tomam as decisões e que consomem toda a matéria-prima do planeta, esses caras vão perder as casas, né? Então a gente vai perder costas, a gente vai perder a Flórida, a gente vai perder costas do Brasil, a gente vai perder uma puta de uma região da enseada lá da Amazônia, né? Então se você pensar em todas essas encostas, vão ser Nova Iorque vai estar embaixo de água, grandes cidades, Los Angeles vai estar embaixo de água, então essa é a preocupação do ser humano. Só que até isso acontecer, a gente já extinguiu metade da vida dos oceanos, não vai mais ter peixe para a gente comer, porque a química vai mudar tanto que a vida vai mudar demais no oceano. Não tem como falar que não vai mais ter vida, mas você entendeu, né? A gente vai ter afetado demais as outras populações de organismos do oceano, desde micro-organismos até baleias, do menor ao maior.

Emanuele: E outra, para estar acontecendo esse derretimento de gelo, significa que alguma coisa está causando isso. E esta alguma coisa principal que está causando isso é o que a gente chama de global warming ou de... aquecimento global. Esse é um dos grandes problemas que a gente está ocorrendo agora no planeta Terra. Significa que a gente tem uma grande produção de gases de efeito estufa, principalmente o gás carbônico, o dióxido de carbono, o CO₂, não o gás carbônico, o dióxido de carbono, o metano, Óxido nítrico, o N₂O. E vapor de água. Esses são os quatro principais gases de efeito estufa. Efeito estufa, o Evandro deve ter explicado já para vocês muito bem, mas são esses gases que existem na atmosfera que retêm o calor do Sol e graças ao efeito estufa do planeta Terra a gente tem vida nesse planeta também, não é só as bactérias não. Só que se você tem muito desses gases sendo produzidos dentro da atmosfera, vai absorver muito mais o calor do Sol ao invés de... refletir para fora da atmosfera, para o espaço de novo. Então, esse efeito estufa está aumentando, fazendo com que a temperatura do planeta aumente. É um efeito dominó. Desculpa, não é um efeito dominó. A gente chama de feedback positivo. Quanto mais quente, mais vapor de água você tem, mais quente vai ficar. Ou, quanto mais você derrete... Quanto mais você derrete um gelo, menos superfície branca vai ter, mais calor vai ter, mais gelo vai derreter. Ou seja, quanto menos gelo, menos gelo, menos gelo, menos gelo. A gente chama isso de feedback positivo. Então, esse aumento de temperatura está esquentando a atmosfera e está esquentando a água do mar. Esquentando a atmosfera, você tem mais derretimento acontecendo. Se você tem mais derretimento acontecendo, a gente tem o que a gente chama de... efeito albedo, você pode dar um Google nisso também, dar uma pesquisada nisso, efeito albedo, que significa que quando você tem a irradiação do sol batendo em superfícies claras, brancas, vamos para o gelo, vamos direto para o gelo, brancas do gelo, grande parte disso, 90, 95% são refletido e pouca parte absorvida. Só que se você tem esse derretimento de gelo acontecendo, você tem menos gelo e você tem mais terra exposta, né? Ou oceano azul exposto. Não tem mais branco do gelo. Então você tem mais calor sendo absorvido. Então quanto mais calor você absorve, mais derrete. Quanto mais derrete, mais calor você absorve. Mais um outro exemplo de feedback positivo. Tá? E é o que está acontecendo muito do Ártico, que a gente está perdendo muito desse gelo, porque não tem mais gelo também para refletir. O Ártico está passando por o que a gente chama de uma amplificação ártica, que o Ártico está aquecendo quatro vezes mais do que o resto do planeta. Quatro vezes mais. E Antártica? Antártica está acontecendo a mesma coisa, perdendo essa extensão de gelo marinho, mas aumentando o tempo as geleiras. Esse é o efeito básico de atmosfera. O assunto é gigantesco, então eu vou tentar resumir aqui e depois você pode me perguntar umas perguntas mais específicas. Só que o calor da atmosfera é transportado e absorvido pelo oceano. A gente está falando só de calor, a gente não está nem falando de absorção de gás carbônico. É absorvido no oceano. A água, um líquido, demora muito mais para aquecer do que o ar. Ao mesmo tempo, um ar esfria muito mais rápido do que o líquido esfria. Então, essa troca de calor entre sólidos, líquidos e gasosos. Esse oceano... Está aquecendo mais devagar, só que olha o volume de água de massa do oceano que a gente tem no planeta. E para isso aquecer, para você falar que o oceano aquecer 0,1 graus Celsius... Isso é um monte, cara, isso é um monte, que é o que tá acontecendo já, tá? O planeta Terra em si, a temperatura, a gente passou já o 1.5 graus Celsius, que a gente devia ter evitado, que, claro, óbvio que não se fez o suficiente pra se evitar, mas o oceano, ele tá um décimo menos por causa dessa transferência de calor, tá? Só que a mesma coisa que eu falo, cara, quando dou as palestras, quando a gente está febril, a gente se sente super ruim, não

se sente? Tem alguma coisa errada com a gente. O planeta está febril. O planeta está doente. E nós somos, o ser humano é o vírus causador dessa doença do planeta. E o planeta está febril. O oceano esquentando, o que acontece? Principalmente na Antártica e na Groenlândia, que você tem essas plataformas de gelo, essas geleiras, que... terminam na água, então elas estão sentadas, esse gelo está sentado, está em contato com a rocha, embaixo do nível da água. Então, o que acontece? Esse oceano quente está comendo essas geleiras e essas plataformas de gelo por baixo, fazendo que grandes pedaços de gelo se desloquem, quebrem. Principalmente na Antártica, que você tem essas plataformas gigantes, esses icebergs gigantes que se desprendem. O A23A. É o grandão agora que faz anos que foi, se deslocou, que quebrou, só que agora ele tá em deslocamento, né? E vai ser sempre assim, Pedro, você pode ter certeza. Cada ano vai ser assim, ah, o maior, o maior. Ano passado foi o maior, agora esse aqui é maior do que aquele lá. Vai ser recorde em cima de recorde, maior em cima de maior. E pode esperar que é isso que a gente tem aí pros próximos anos de vida, tá? Então, essas plataformas de gelo são quebradas não só pelo aquecimento da temperatura por cima, derretimento do gelo por cima, mas por causa dessa temperatura de mar por baixo.

Emanuele: E aí pensa, a partir que você tem oceanos, vamos botar uma porcentagem média de 3,5% de salinidade, varia um pouquinho entre os oceanos, não são todos a mesma coisa. Aí você tem um enorme bloco de gelo de água doce derretendo em cima desse valor de porcentagem de sal. Essa salinidade vai começar a mudar, é uma das coisas, mas não é só isso, todos os outros químicos vão mudar. E quando você leva em consideração essas plataformas de gelo ou gelo marinho em relação a volume de água, acho que isso que você perguntou também do início, de aumento do nível do mar. Essas plataformas de gelo, Pedro, e o gelo marinho não contam para aumento de volume de mar, porque isso já está dentro do oceano, tá. Só que a partir do momento, pensa esse bolo com essa cobertura, a partir do momento que você corta um pedaço desse bolo, a cobertura que tá em cima do bolo, que também escorrega assim, tipo um gel, ela vai começar a escorrer pro prato. Você tirou um pedaço dessa fatia desse bolo com essa cobertura, então você tirou essa plataforma, né? Pensa essa cobertura que tava em cima do prato, então você limpou isso, só que o que tava em cima do bolo agora correu de novo para o prato, tá? Então o que que acontece... Não é só a parte de derretimento, quebra dessa plataforma gigante que já está no mar. Essa plataforma está travando, está segurando o resto do gelo que está em cima da Antártica, em cima da Groenlândia, para não correr para dentro da água. Só que a partir do momento que essa plataforma quebrar, o gelo que está em cima da Groenlândia e o gelo que está em cima da Antártica vai começar a correr para dentro do oceano do mesmo jeito que a cobertura do bolo corre para... Para o prato. E é isso que vai aumentar os volumes... Do nível do mar. Em adição... a expansão térmica, tá? Porque aí agora, de novo, então você está adicionando um volume de água dos oceanos e agora também a gente está falando que os oceanos estão aquecendo. O que acontece se a gente colocar água no fogo para esquentar numa chaleira? Começa a borbulhar, né? Se você botar um becker, num bico de Bunsen no laboratório, com 100 ml de água, observe quando ela começar a ferver, observe o que acontece com esse volume. Expansão, né? Você tem os gases, as moléculas ficam bem mais agitadas, você tem um distanciamento dessas moléculas de água uma da outra. Você tem um aumento de volume. De novo, a gente está falando de um volume de um planeta. O volume do planeta Terra... Volume dos oceanos de planeta Terra. Você tem expansão térmica com aumento de temperatura.

Então, você está falando de um aumento de volume de mar por causa de extensão, expansão térmica da água por estar aquecendo e adição desse gelo que vai começar a correr. Vai começar, não. Já está correndo, porque há... Um exemplo que eu te dou, se você pode dar uma olhada na Larsen. L-A-R... S-E-N, a plataforma de Larsen, que foi perdida toda da encosta leste da Península da Antártica. Isso tudo foi perdido já, há mais de uns 10 anos já, já foi. Se você dá uma olhada no que era antes e depois disso, e tudo que está sendo agora ocorrido depois que ela saiu, tudo que está sendo perdido da Península para dentro do mar em relação a isso, isso é um mini-exemplo. Então é isso que está acontecendo de novo, isso é principalmente da região da Groenlândia e da Antártica, que são os únicos dois locais do planeta que a gente tem os ice sheets, que a gente chama, o que é a tradução para o português? Esqueci agora. Tenho que dar uma olhada no que é a tradução para português. Mas são os únicos dois lugares que a gente tem esse platô de gelo, né? Em cima de um pedaço de terra, digamos assim.

Pedro: Ainda tenho uma dúvida, na minha primeira pesquisa bibliográfica que eu fiz... Eu não achei nenhum artigo que fale alguma bactéria específica que realmente cause mal, que possa ser ruim para os seres humanos. Como você falou no primeiro áudio, se eu não me engano, na sua apresentação, que você começou como microbiologista, se eu não me engano. Depois eu revejo aqui para ver se é isso mesmo. Eu queria saber se você sabe alguma bactéria que está congelada dentro dessas calotas polares. e saber o impacto que elas poderiam causar, né? Porque eu encontrei só notícias que falam que tem um vírus zumbi que está congelado há 10 mil anos, mas eu não achei nenhuma bactéria que seja relevante para o trabalho. Se você pudesse me falar uma, ou se você não souber também, tudo bem, eu posso dar uma pesquisa aqui, mas se você puder me falar uma bactéria que realmente cause danos à sociedade que está dentro do... congelado no gelo, no caso, né? Eu vou agradecer muito, viu? E obrigado por ter respondido as questões, você respondeu tudo de forma bem clara, então eu queria te agradecer por ter dado atenção para o trabalho. E... Ah, só isso mesmo, mas muito obrigado por ter aceitado participar dessa entrevista, acho que é só essa questão mesmo de saber se tem uma bactéria que possa realmente causar mal e se você sabe o nome, mas é só isso. Obrigado, muito obrigado, desculpa o atraso pra ter respondido, muito obrigado. Opa, muito obrigado por ter respondido à pergunta se teve ou tem alguma bactéria que possa causar algum problema. Então, gostaria de agradecer por você ter respondido.

Emanuele: Oi, Pedro, tudo bem? Então, cara, tem milhões de micro-organismos, bactérias, arqueias e vírus em gelo, em tudo que é altura, né? Da neve, na superfície, no gelo profundo, em lagos, abaixo das colotas de gelo na Antártica, né? Do manto de gelo. Tem lagos líquidos abaixo da montanha de gelo na Antártica. Bactérias, vírus e arqueias estão em tudo que é lugar do planeta, os extremófilos que eu te falei. E para elas serem causadoras de doenças, vírus é diferente, porque vírus é uma partícula que tem que ter um código de chave fechadura nas células hospedeiras, para poder entrar nas células, a célula como um fator de multiplicação das partículas virais. Bactérias também têm que ter uma chave fechadura para serem patogênicas, para causarem doenças, tá? E para isso acontecer, as bactérias, a princípio, espera-se que elas tenham que ter evoluído, pelo menos com um organismo

de sangue quente. Então, estou te falando isso porque na Antártica, por exemplo, não tem registro de organismos de sangue quente. A gente teve dinossauros lá. Não lembro de a gente ter tido mamíferos na Antártica. Eu teria que dar uma olhada nisso, tá? Se tem fósseis de mamíferos. Eu sei de fósseis de dinossauros na Antártica. Mas o que acontece é de um organismo ter morrido por uma infecção bacteriana e essa bactéria ser um tipo de bactéria que é capaz de produzir uma cápsula ou um esporo, tá? Que é uma coisa que não são todas as bactérias que fazem. É um tipo de... de mudança na célula, que ela seca a célula toda, cápsulas e esporos são diferentes, tá? Vamos falar de esporo, então, que a célula seca e protege o DNA dentro de uma estrutura, né? Ela monta essa estrutura como se fosse uma casca, como se fosse um ovo. É um esporo, né? Não é um esporo reprodutivo que nem esporo de fungo para reprodução. É como se fosse um ovo, tá? Então, ela seca... A célula produz essa proteção e guarda o DNA lá dentro até condições estiverem prontas de novo, boas para ela, que nem água, temperatura, as condições ambientais para ela reviver. E aí esse esporo volta a viver. E com isso, esses esporos podem ficar há centenas de milhares de anos em dormência. Eu posso até procurar para você qual é o mais antigo esporo, Eu esqueci agora, cara. Não vou te chutar o número porque é um número antigão mesmo. Vou procurar aqui pra você, tá? Mas esses poros podem ir a centenas de milhares de anos e voltarem à vida. E antraz é um bacilos, né, antrax, que é um bacilo que a gente usa até, a humanidade usa como arma biológica, que é uma produtora de esporos, então você pode crescer elas em laboratório, né, produzir um monte delas, fazer esse esporo e jogar esse esporo pelo ar, mandar... por correio numa carta e esse esporo em contato então a pessoa respira esse esporo e esse esporo vai se desenvolver dentro do organismo da pessoa e vai matar a pessoa E é bem porreta, né? É bem forte a infecção. E permafrost é um solo congelado há pelo menos dois anos, tá? Pelo menos dois anos congelado. E a gente tem em regiões polares, principalmente em regiões alpinas, também a gente tem permafrost, tá? Que é esse solo permanentemente congelado. Só que com o aumento de temperatura, esse permafrost que tem a camada inicial dele que congela e descongela, uma parte ativa que a gente chama de permafrost, está cada vez descongelando mais. Então está ficando mais profunda. Então esse solo que era congelado agora está descongelando. E organismos que anteriormente morreram por infecções bacterianas, com bactérias que produzem esporos, estão voltando a serem expostas, então estavam enterradas debaixo da neve, dentro desse permafrost, e agora esse permafrost derretendo e tendo condições favoráveis, esse micro-organismo com esporo, ele volta à vida e contamina quem estiver passando por perto. E é o jeito que eles crescem. Micro-organismos, os patogênicos, é o jeito que eles crescem. Eles precisam de um hospedeiro para se multiplicar. O objetivo de vida deles é esse. Então, eles causam essa doença, que é o bacillus anthracis. que dá uma olhada nisso aí, se você quiser olhar. Não está relacionado diretamente a geleiras. Geleiras é mais complexo, porque aí você está falando de depósitos, caem particulados de neve, que centenas de milhares de anos compactam, formam o gelo. Tem organismos lá? Tem. Patogênicos? Raramente. Quando a gente trabalha com gelo, Pedro, gelo de geleira, A gente tem que cuidar muito mais da gente não contaminar a amostra do que a amostra contaminar a gente. Qualquer coisa da amostra contaminar a gente. Então, essas histórias científicas ou, sei lá, né, ficção científicas de a gente vai começar a desenterrar um monte de bicho que vai, um monte de organismo, bicho não, né? Um monte de micro-organismo que vai começar a matar a humanidade, isso aí é mito, tá? Isso é besteira. O que pode acontecer, sim, que organismos, mamíferos ou aves, organismos de sangue quente, que morreram por uma infecção de um microrganismo

que é capaz de produzir uma cápsula ou um esporo e ficar em estado dormente por milhares de dezenas de anos, ou centenas de milhares de anos, podem voltar à ativa e contaminar organismos que estiverem por perto. Porque ali a evolução desenvolveu junto. Agora, se pegar um micro-organismo ambiental, que são os que tem na água do rio que a gente toma, tem na água do mar, tem no gelo que a gente derrete e bebe, eles não são patogênicos. Não sendo patogênicos, eles não causam doença, eles passam reto no nosso organismo, né? Então dá uma olhada nisso aí, isso aí pode ser um exemplo para você, mas de novo, não é geleira, é permafrost, mas você pode dar também como exemplo que é uma coisa que está muito em discussão em relação à exposição desses organismos de novo, né? Se eu achar mais alguma coisa aqui eu te mando.

Emanuele: Ó, Pedro, aprendi com você aqui na pesquisa, viu? Eu dei uma olhada agora de novo, porque eu lembrava que tinha alguma coisa que eu já tinha lido de mamífero na Antártica. E tem um que foi encontrado na Península Antártica, bem na ponta do norte da Península Antártica, que... Tá até relacionado que ele também foi encontrado, acho que na América do Sul, se eu não me engano. Então teve um lá na pontinha da Península Antártica, que é um lugar onde a gente tem bastante fósseis, tá? No... No leste da Península Antártica, ali é uma puta de uma região com um monte de fósseis. E eu só não sabia se tinha mamífero já achado ou não. E tem, tem um mamífero que foi achado lá naquela região, tá? Mas em geral, dentro do continente, a gente tem que perfurar muito, né? Pra achar o fóssil abaixo do manto de gelo. Então, a princípio tem esse aí, mas de novo, né? Esse caso que eu te passei do artigo, que você dá uma olhadinha, é um caso de um antraxis, que eu acho que foi uma rena, se eu não me engano a história é essa, tem que dar uma revisada, mas que morreu com a infecção e com a exposição dessa rena de novo, não é fóssil, então foi um animal moderno. que morreu com essa infecção, mas há muito tempo ficou enterrado nesse permafrost e o anthrax voltou e acabou sendo disseminado pelas comunidades na Sibéria. Tá bom? Dá uma lida aí no artigo e qualquer coisa me pergunta, tá? Tamo aí. Um abraço, cara.

Currículo

Educação

2009 - 2014: Doutorado em Bioquímica e Biologia Molecular, University of Nevada, Reno.

Tese: Dimensões da vida microbiana antártica reveladas por meio de caracterização microscópica, baseada em cultivo, filogenética molecular e genômica ambiental. Orientadora: Alison E. Murray. Bolsa Fulbright/CAPES.

2005 - 2007: Mestrado em Biotecnologia, Universidade de São Paulo, Brasil. Dissertação: Diversidade de genes de alcano monooxygenase e genes de dioxigenase de hidroxilação de anéis aromáticos (ARHDs) em comunidades microbianas de sedimentos marinhos antárticos.

Orientadora: Dra. Vivian Helena Pellizari. Bolsa CAPES.

1998 - 2004: Bacharelado em Biologia Molecular, Celular e Funcional, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.
Projeto: Análise da diversidade bacteriana em ambientes aquáticos aplicando PCR-DGGE.

Orientadora: Dra. Gertrudes Corção. Bolsa CNPq.

1998 - 2002: Licenciatura em Biologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

Bolsa CNPq.