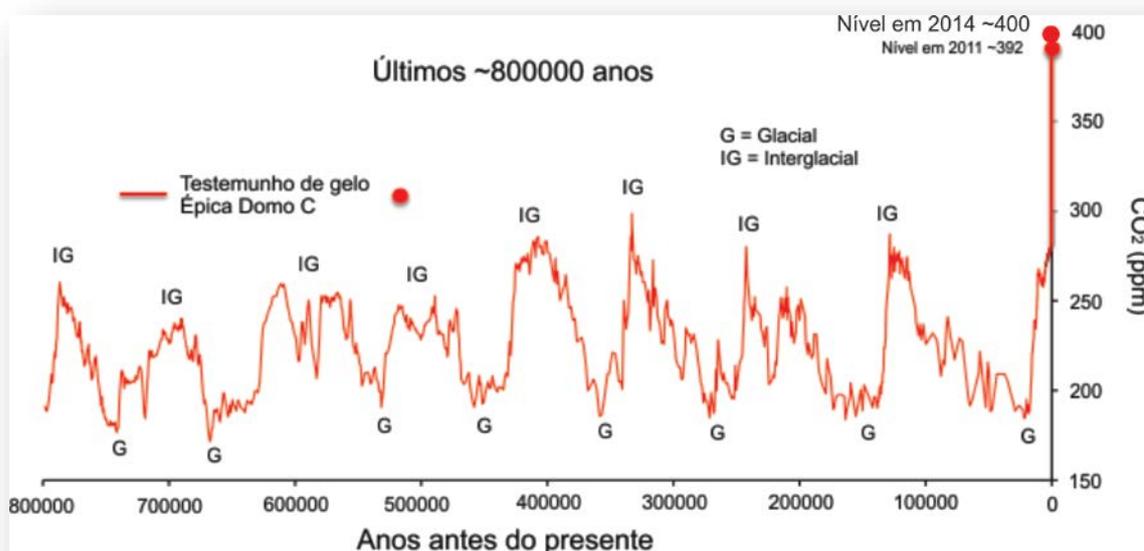


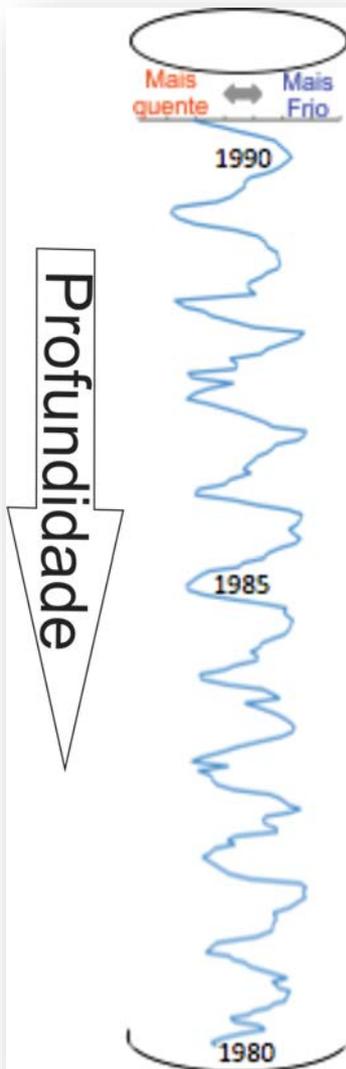
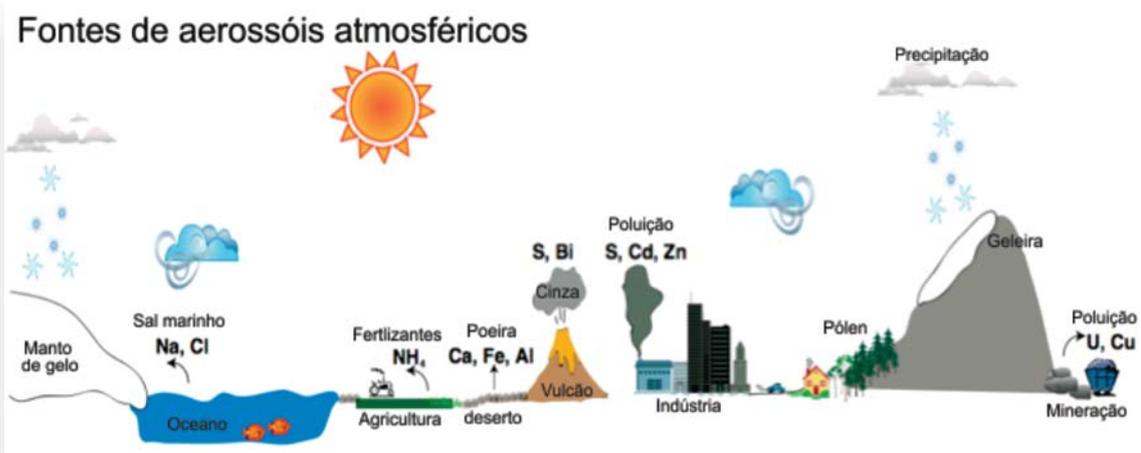
COMPREENDENDO AS MUDANÇAS DO CLIMA PELA ANÁLISE DE TESTEMUNHOS DE GELO

DESCOBRINDO O PASSADO PARA ENTENDER O FUTURO

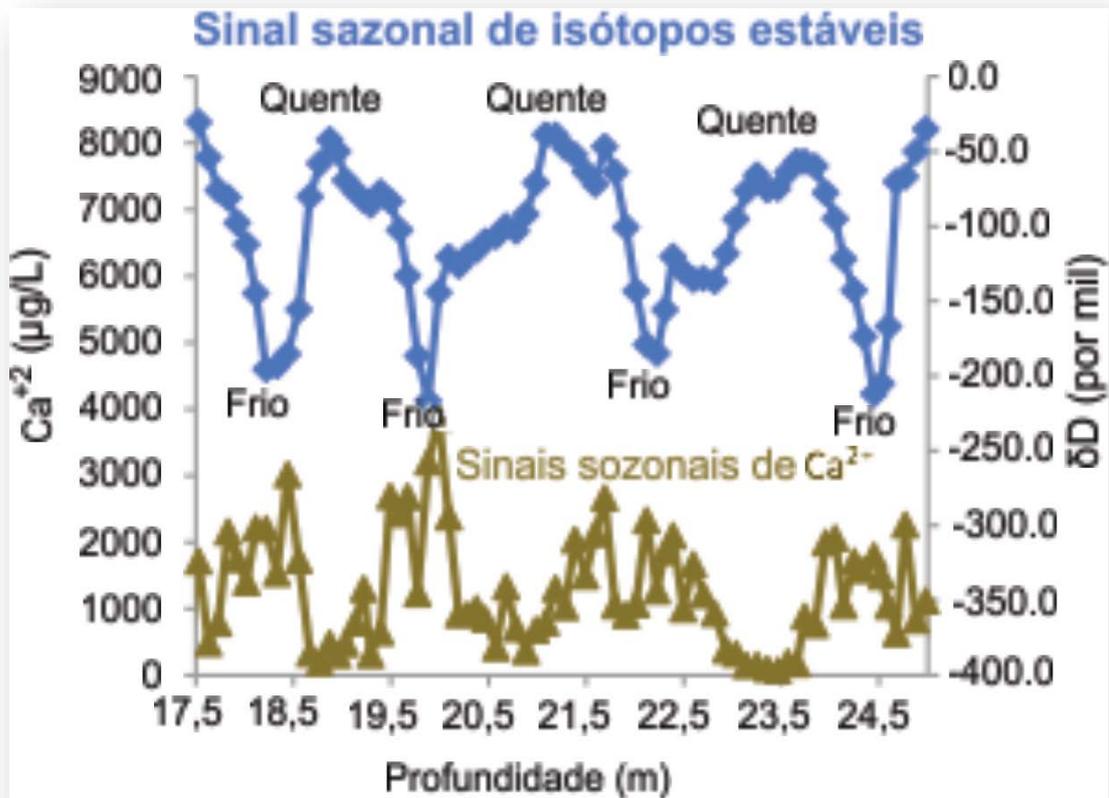


ICE CORE 101

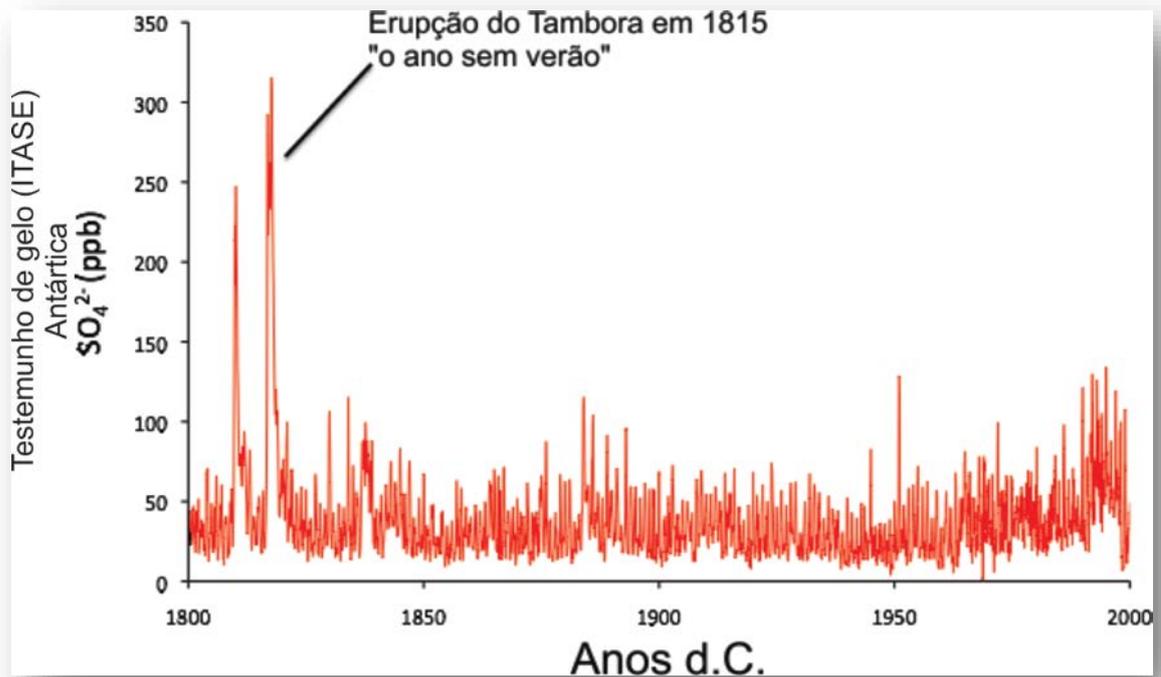
Um testemunho de gelo é uma amostra de gelo, em formato cilíndrico, proveniente da perfuração de uma geleira. Os registros dos testemunhos são a forma mais direta e detalhada de investigar as condições climáticas e atmosféricas passadas. A neve que precipita sobre as geleiras, a cada ano, guarda as concentrações atmosféricas de poeira, sal marinho, cinzas, bolhas de gases e poluentes humanos. Análises das propriedades físicas e químicas dos testemunhos de gelo podem revelar as variações climáticas do passado, que ocorreram há centenas de milhares de anos. Assim, os registros dos testemunhos de gelo podem ser usados para reconstruir a temperatura, a intensidade da circulação atmosférica, a precipitação, o volume dos oceanos, as poeiras atmosféricas, as erupções vulcânicas, a variabilidade solar, a produtividade biológica marinha, a extensão do gelo marinho e dos desertos, assim como as queimadas nas florestas.



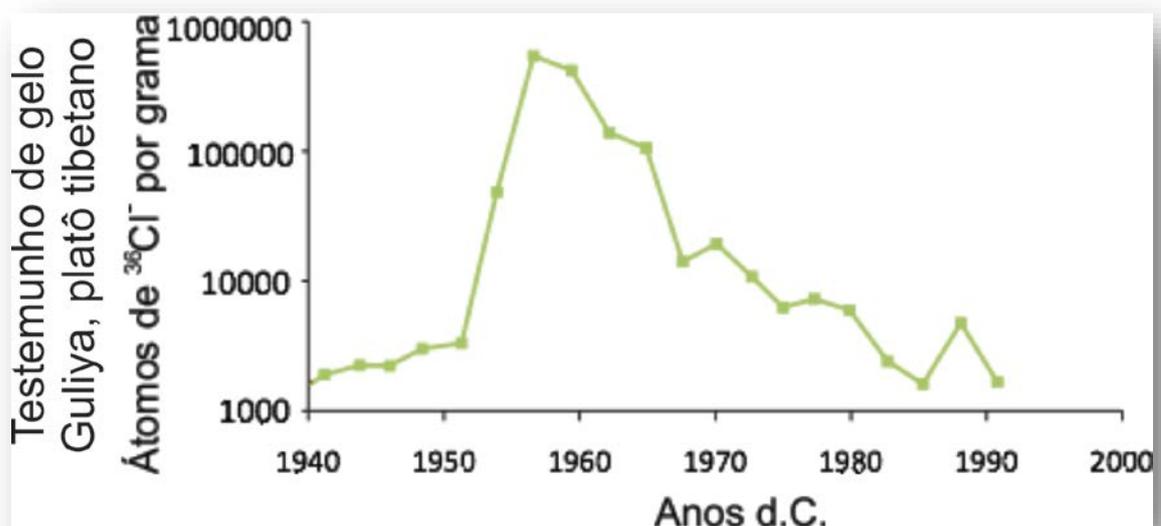
Os testemunhos de gelo também possuem excelentes marcadores sazonais, o que possibilita uma datação bastante precisa. Por exemplo, as proporções dos isótopos estáveis de água variam de acordo com a temperatura e podem revelar períodos mais quentes ou mais frios do ano. Outro marcador sazonal é a poeira, já que em certas regiões ocorrem tempestades de poeiras que podem ser usadas para contar os anos. As concentrações de poeiras devem ser altas o bastante para estarem visíveis no testemunho de gelo.



Dados anuais podem ser confirmados pelos horizontes de datação (camadas de referência) dentre os quais as mais conhecidas são as erupções vulcânicas. Grandes picos de sulfato (SO_4^{2-}) podem ser usados para identificar as fontes vulcânicas. A erupção do Tambora, em 1815, responsável pelo “ano sem verão” é um desses horizontes comumente utilizado, pois foi identificado em testemunhos de gelo por todo o globo terrestre.



Além disso, esses horizontes incluem o significativo aumento da radioatividade atmosférica (detectada pelo aumento da concentração de $^{36}Cl^-$, Trício, ou de atividade beta) visto em testemunhos de gelo, os quais refletem os testes de bomba atômica que começaram a ser realizados nos anos 40 e tiveram seu pico nos anos 60.

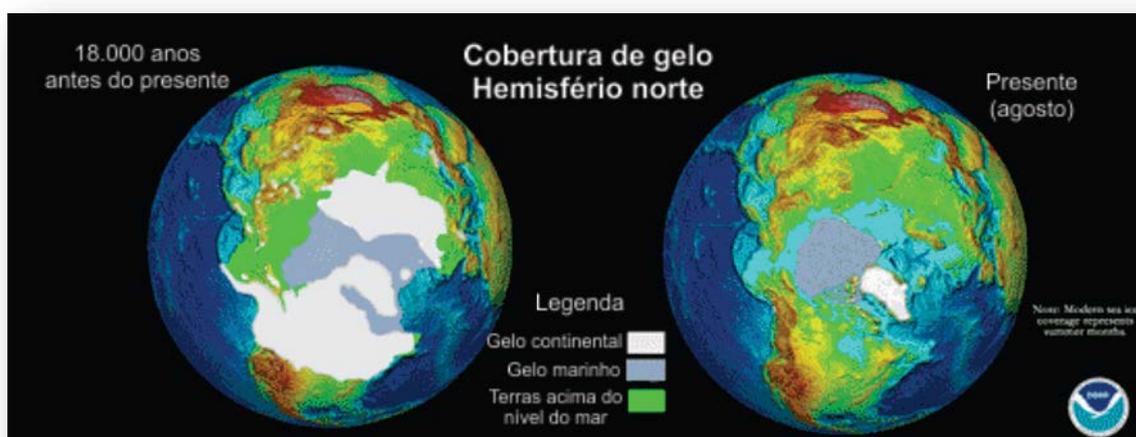


Sinais sazonais e horizontes de referência permitem uma datação precisa dos testemunhos de gelo. Outras técnicas de datação incluem datação radiométrica e modelagem de fluidos.

RECONSTRUÇÃO DO CLIMA PELOS TESTEMUNHOS DE GELO

Temperatura

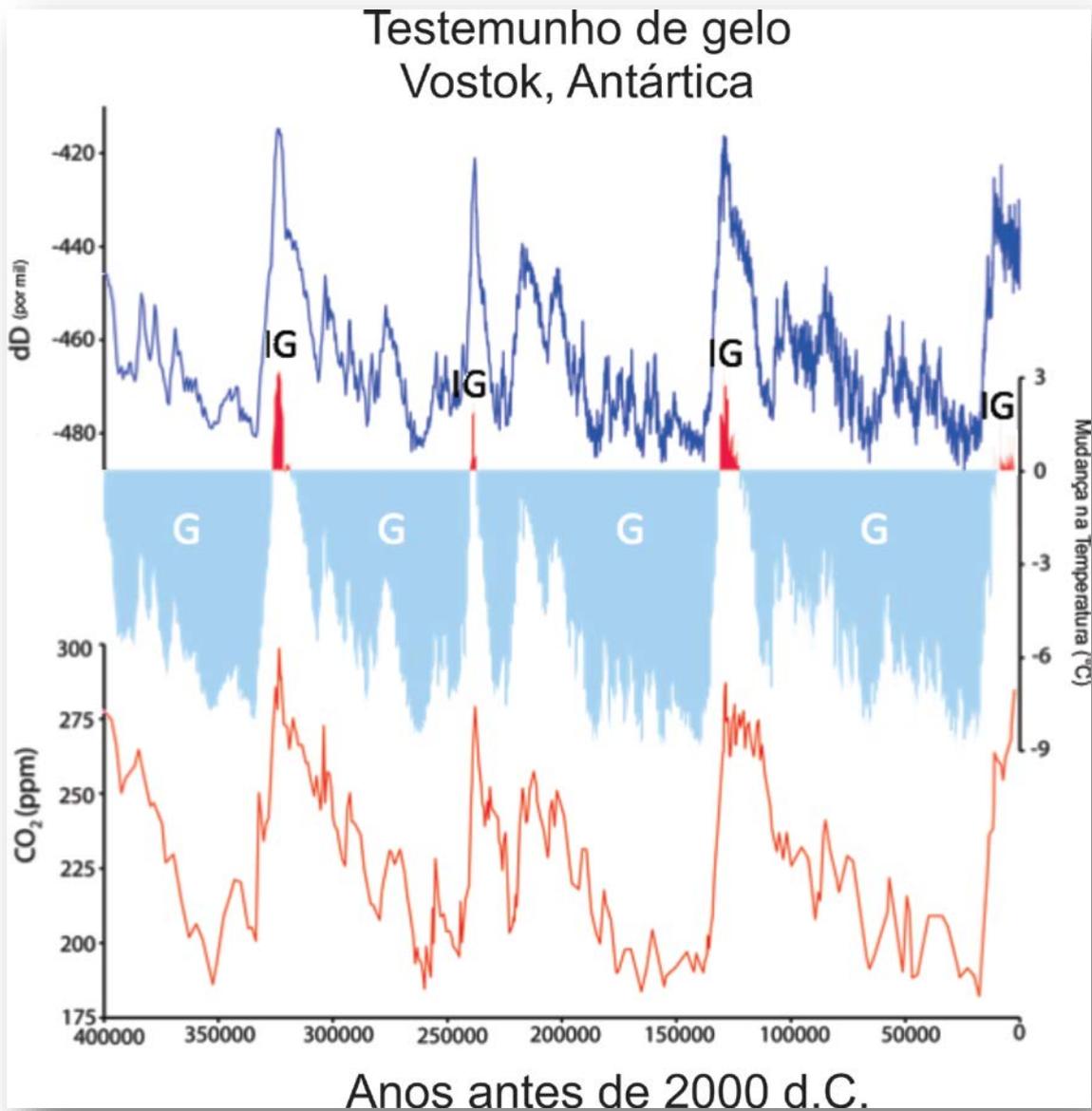
Os registros de testemunhos de gelo permitem a reconstrução das temperaturas passadas ao longo das últimas centenas de milhares de anos. A proporção de isótopos estáveis de água, como o deutério (D), possui relacionamento direto com a temperatura e, por isso, é usado para inferir as temperaturas do passado. A reconstrução das temperaturas mostra, claramente, os períodos glaciais e interglaciais. O período glacial é um intervalo de tempo (cerca de 100 mil anos) marcado por temperaturas baixas e avanço das geleiras. Já os períodos interglaciais são intervalos de tempo (entre 10 e 20 mil anos) de temperaturas elevadas, que separam os períodos glaciais. O Holoceno é o período interglacial atual, durando pelos últimos 11 mil anos.



A comparação entre as reconstruções de temperatura, pelos testemunhos de gelo, e os registros de concentração de CO_2 , revelam que o período glacial (mais frio) coincide com a baixa concentração de CO_2 , enquanto o interglacial (mais quente) está relacionado com alta concentração de CO_2 . Os padrões similares de temperatura e CO_2 são compatíveis com a natureza dos gases de efeito estufa (GEE). Quanto maior a concentração de GEE na atmosfera, maior é a quantidade de calor que pode ser armazenado nela. É importante notar que as tendências semelhantes entre o CO_2 e a temperatura não são apenas uma relação de causa e efeito, já que outros fatores também estão relacionados, como por exemplo as mudanças orbitais, solubilidade de CO_2 no oceano, mudanças na superfície terrestre, extensão das plataformas de gelo. Entretanto, a relação

*Traduzido por Flávia Dias de Souza Moraes, Enoil de Souza Júnior e Jefferson Cardia Simões.

de correspondência maior está ligada ao retroprocessamento entre o dióxido de carbono e a temperatura.

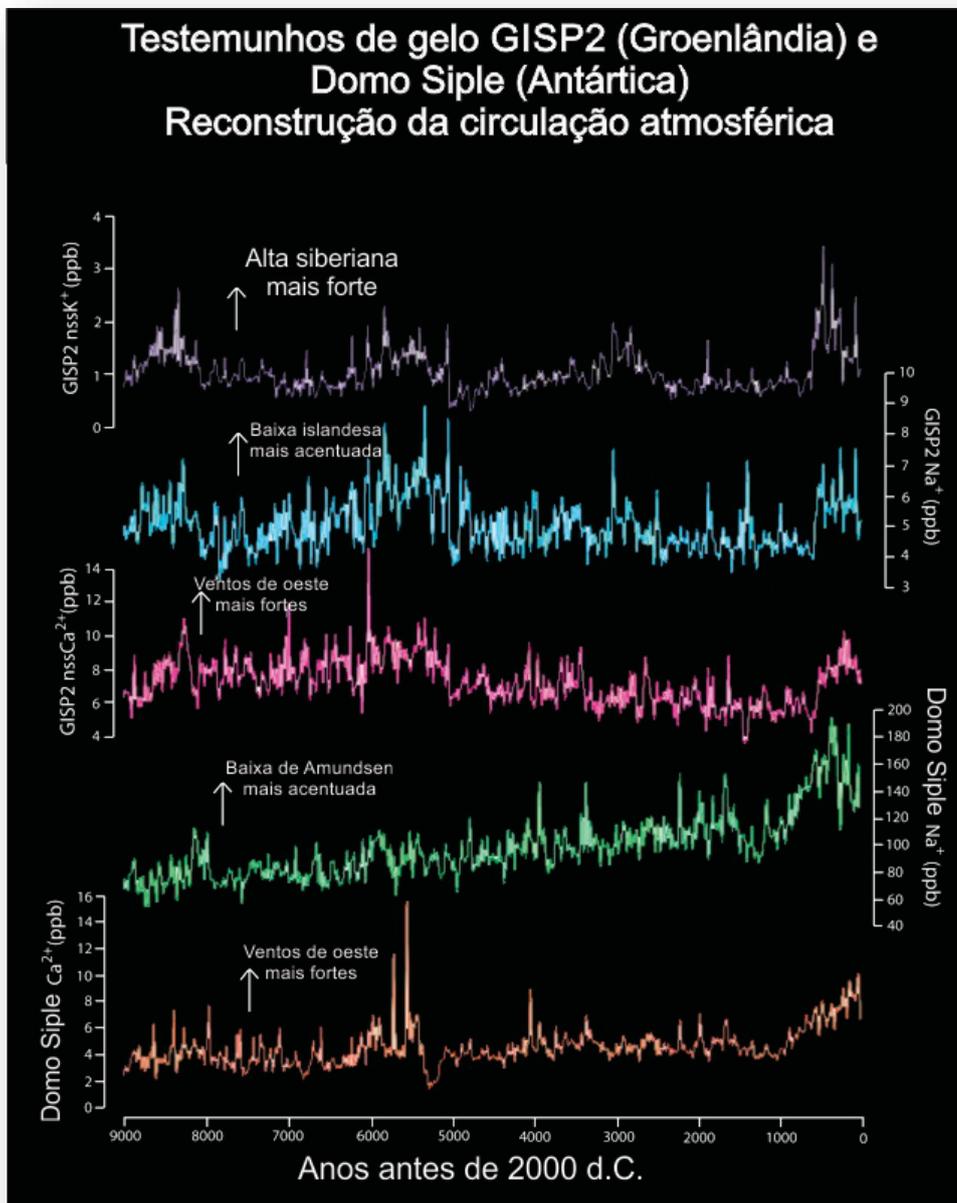


Circulação atmosférica

Os padrões de circulação atmosférica são componentes fundamentais do clima, pois eles transportam calor, umidade, gases e aerossóis (poeira, sal marinho, poluição) pelo planeta. Os testemunhos de gelo podem ser usados para investigar as condições atmosféricas passadas pela compreensão e relação entre a química atual dos testemunhos de gelo e os dados instrumentais de clima, como as variáveis da circulação atmosférica: velocidade do vento e pressão superficial.

*Traduzido por Flávia Dias de Souza Moraes, Enoil de Souza Júnior e Jefferson Cardia Simões.

A relação claramente estabelecida entre a química dos testemunhos de gelo e as variáveis da circulação atmosférica também podem ser usadas para reconstrução de climas passados. Por exemplo, no testemunho de gelo da Groelândia (GISP2), as concentrações de sal marinho (sódio, Na^+) e da poeira continental (cálcio não-marinho (nssCa^{2+}) e sódio não-marinho (nssK^+)) são concentrações fortemente correlacionadas com a força regional dos ventos de oeste e com os centros semipermanentes de pressão (a baixa da Islândia e a alta da Sibéria). Essa correlação reflete o fortalecimento regional da velocidade dos ventos, a alta da Sibéria e a baixa da Islândia, resultando em maior deslocamento e transporte de sal marinho e poeira, o que resulta em maior concentração desses elementos nos testemunhos de gelo.



*Traduzido por Flávia Dias de Souza Moraes, Enio de Souza Júnior e Jefferson Cardia Simões.

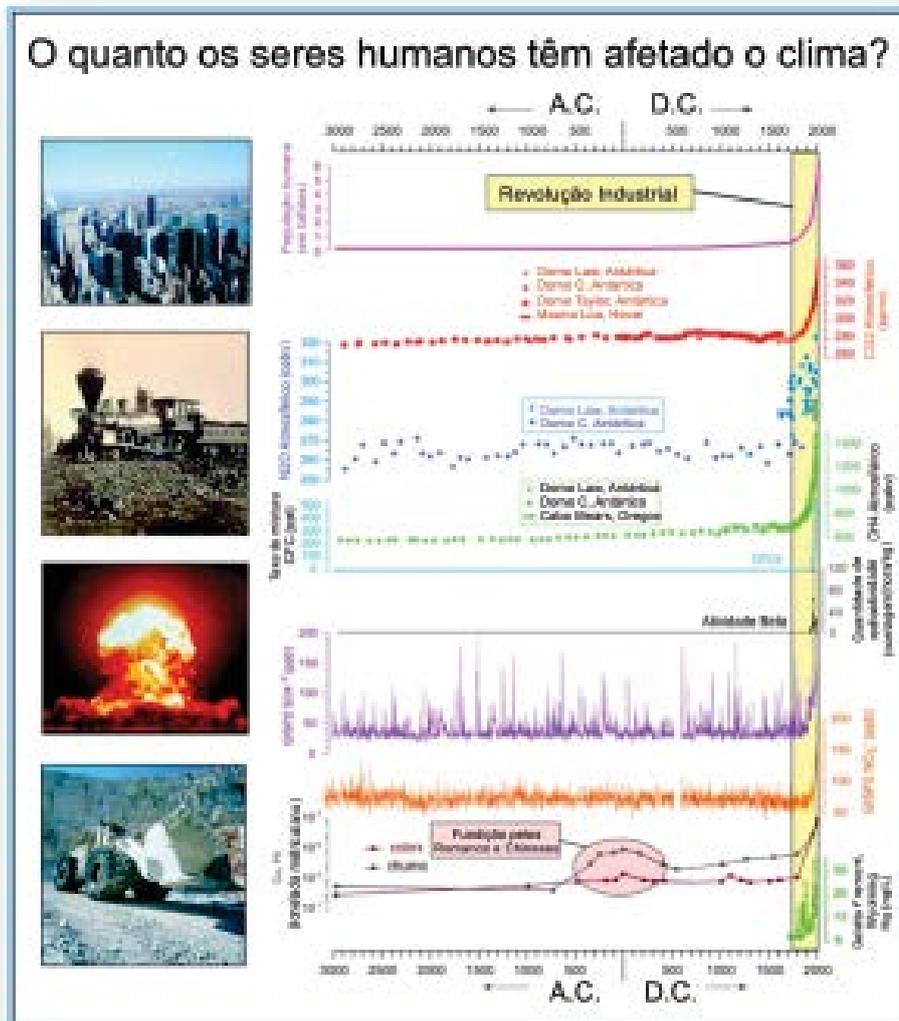
Relação similar entre a química dos testemunhos de gelo e a circulação atmosférica são observados nos registros do domo Siple, na Antártica. Registros de cálcio e sódio mostram a forte relação entre a circulação dos ventos de oeste e a baixa do mar de Amundsen. A forte relação entre esses dois fatores é que permitiu a reconstrução da circulação atmosférica antes do período de dados instrumentais. A reconstrução da circulação atmosférica que remonta os milhares de anos nos ajuda a entender a variabilidade natural e proporcionam uma perspectiva importante das condições modernas do clima.

QUÍMICA ATMOSFÉRICA

A química atmosférica, que é capturada nos testemunhos de gelo, oferece aos cientistas oportunidade única de descobrir como as condições climáticas e ambientais da Terra mudaram ao longo do tempo. Além disso, os testemunhos de gelo podem ser usados para avaliar os impactos das atividades humanas na composição atmosférica (natural versus antropogênico).

Impactos humanos

A Revolução Industrial, no final do século XVIII, permitiu avanços na agricultura, transporte e manufaturas, bem como um significativo crescimento da população e do consumo de recursos naturais (exemplo: atividades de mineração e queima de carvão, petróleo e gás natural). Como consequência, essa Revolução marcou o período no qual os seres humanos começaram a alterar efetivamente a composição atmosférica. O impacto do aumento de uso de combustíveis fósseis e outras práticas humanas que liberam poluentes atmosféricos aceleraram rapidamente, durante o século XX, as concentrações de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), nitrato (NO₃⁻), sulfato (SO₄²⁻), clorofluorcarbonos (CFCs), radioatividade (atividade beta) e metais como mercúrio (Hg), chumbo (Pb) e cobre (Cu).

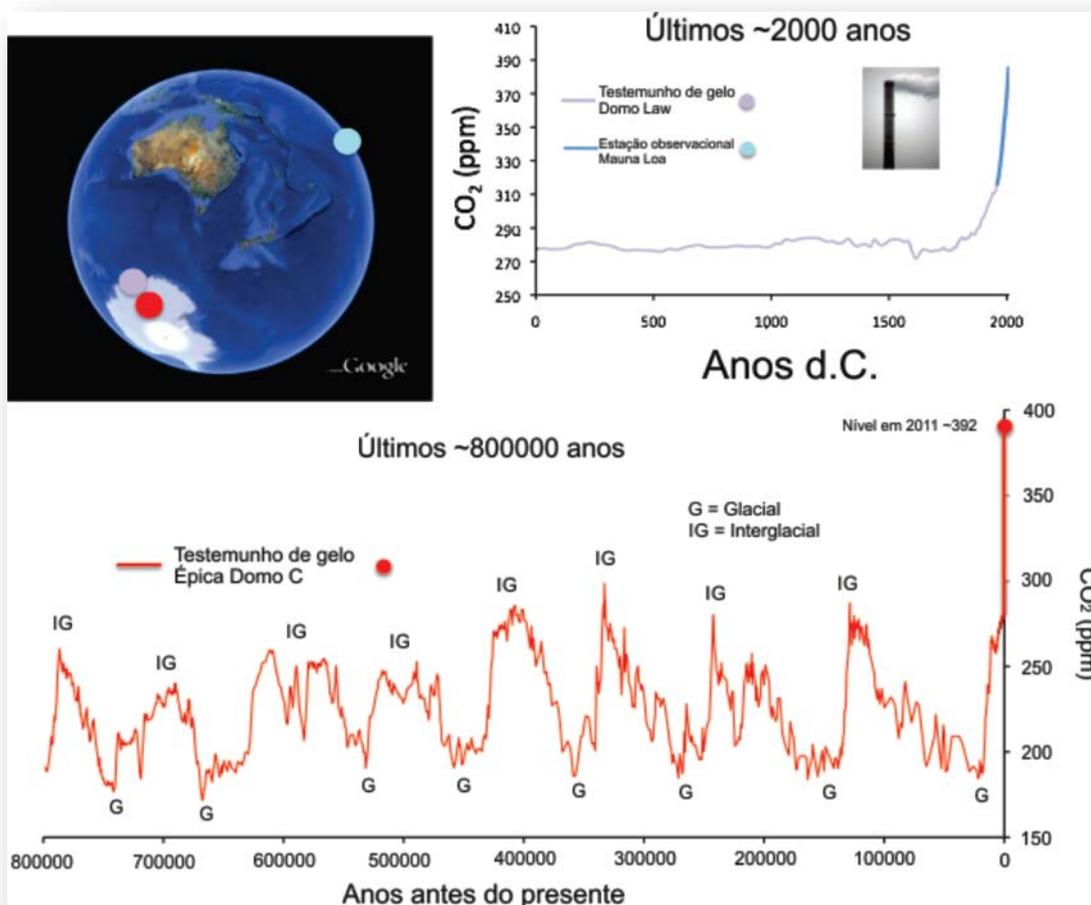


Gases de efeito estufa (GEE)

Os gases de efeito estufa (GEE) são gases presentes na atmosfera que absorvem e emitem radiação termal (calor). Os GEE primários na atmosfera terrestre são o vapor de água, o dióxido de carbono, o metano, o óxido nitroso e o ozônio. Os GEE permitem que a radiação solar curta atinja e esquente a superfície terrestre, a qual erradia, então, radiação de ondas longas (calor) para a atmosfera. Os GEE podem absorver essa radiação de ondas longas, “aprisionando” o calor na baixa atmosfera. Quanto maior a concentração de GEE na atmosfera, maior é o “aprisionamento” de radiação termal em superfície. As emissões antropogênicas de GEE, desde a Revolução Industrial, aumentaram significativamente a concentração desses gases na atmosfera. Os registros dos testemunhos de gelo tornam visíveis as concentrações de GEE no passado e mostram, claramente, o impacto das emissões pelos seres humanos.

Dióxido de carbono (CO₂)

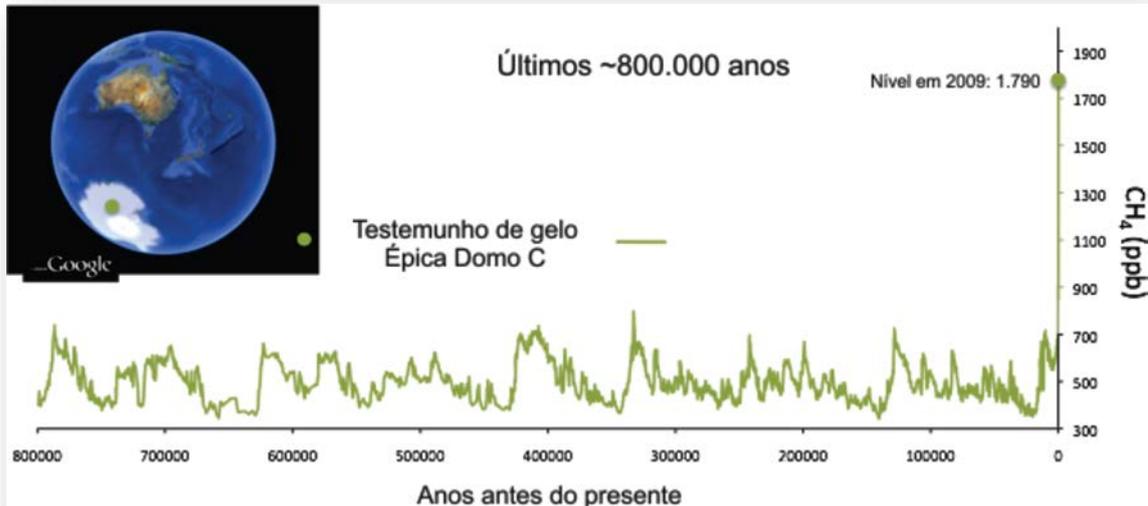
O dióxido de carbono (CO₂) é o GEE mais abundantemente produzido pelas atividades humanas, principalmente relacionado à combustão de combustíveis fósseis. Os testemunhos de gelo têm mostrado a variabilidade atmosférica do dióxido de carbono em múltiplas escalas de tempo. Análise de testemunhos de gelo quando comparadas com os recentes registros instrumentais (por exemplo, da estação de Mauna Loa, no Haváí), mostram que a concentração atual de CO₂ é muito maior do que nas últimas centenas de milhares a milhões de anos. As variações naturais de CO₂ ocorrem entre os períodos glaciais (G) e interglaciais (IG), com valores entre 180 a 280 partes por milhão (ppm). Os impactos humanos na concentração de CO₂, por meio de um rápido aumento, por volta do final dos anos 1700, coincidem com o início da Revolução Industrial. As concentrações de CO₂ tem aumentado nos últimos anos, refletindo a expansão das atividades industriais e agrícolas e o crescimento da população.



Metano (CH₄)

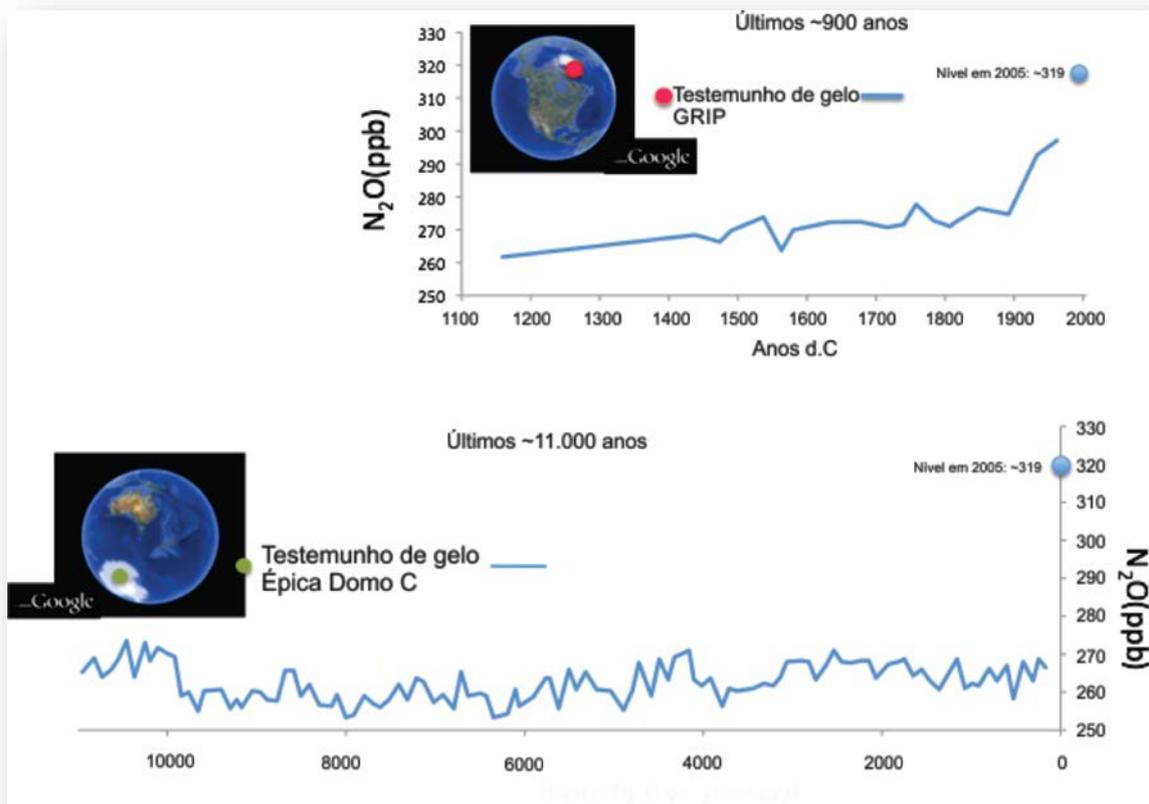
O metano é um poderoso GEE produzido tanto naturalmente quanto por atividades humanas. As áreas úmidas são as fontes primárias de metano. As

fontes antropogênicas incluem petróleo, carvão e extração de gás, tratamento de lixo, aterros, agricultura e queima de biomassa. Os registros dos testemunhos de gelo revelam que a concentração atmosférica de metano mais que dobrou desde a era pré-industrial, de 600 partes por bilhão (ppb) para 1.800 ppb.



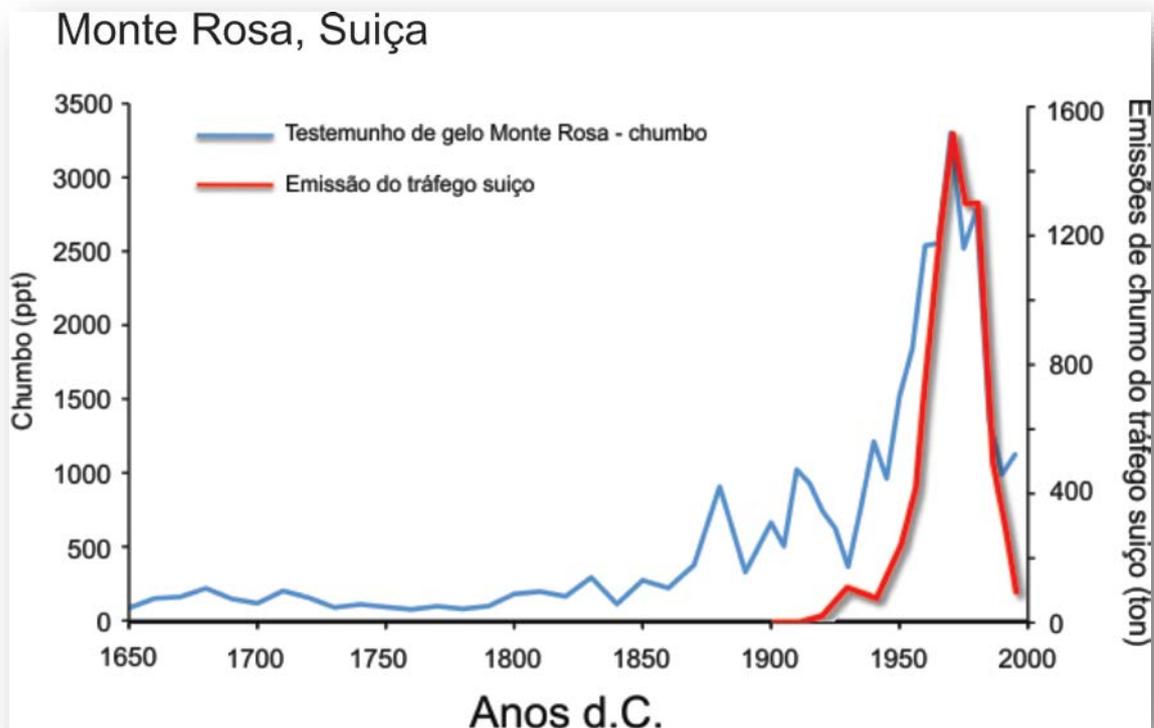
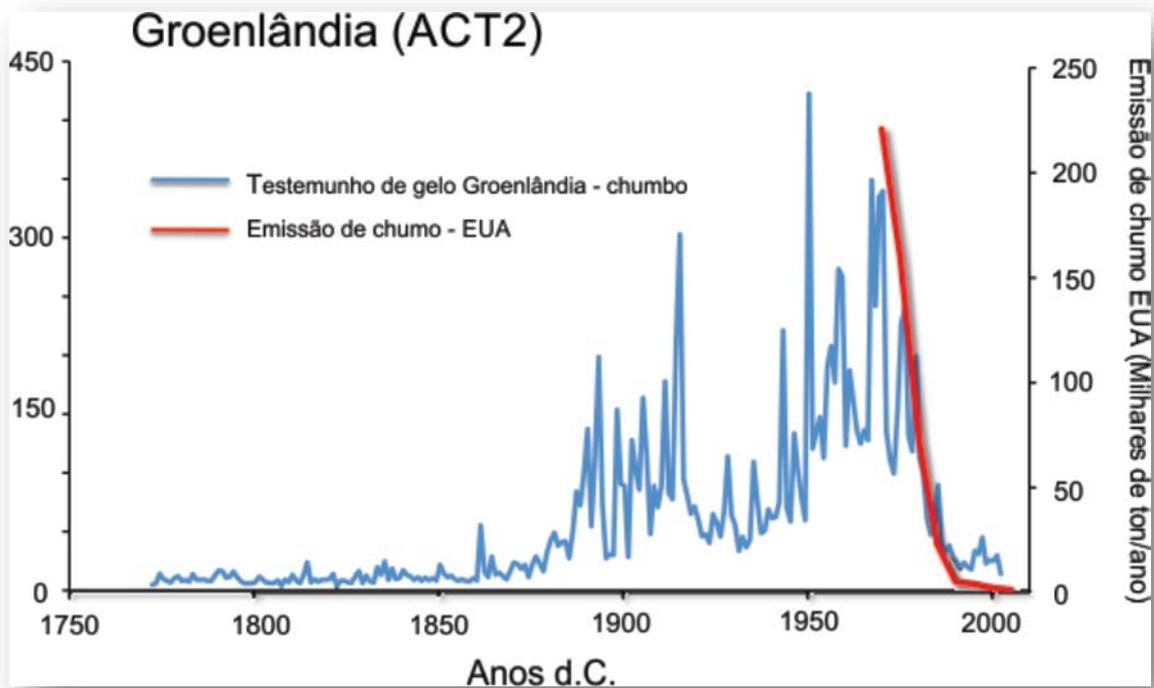
Óxido nitroso (N₂O)

O óxido nitroso (N₂O) é produzido tanto por fontes naturais quanto antropogênicas. As fontes naturais consistem, basicamente, de ação microbiológica nos solos e na água. As fontes antropogênicas são agricultura, tratamento de esgoto e queima de combustíveis fósseis. Os testemunhos de gelo demonstram que os padrões atuais de N₂O são similares à expansão agrícola global durante os últimos séculos.

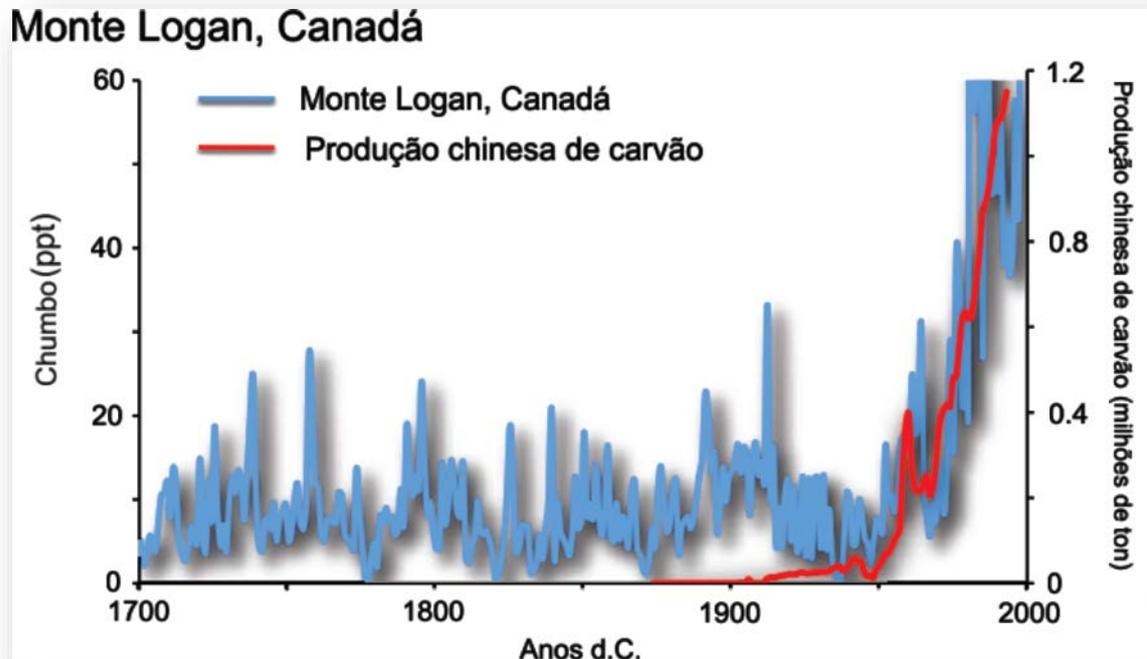


Chumbo (Pb)

Chumbo (Pb) é um metal que pode prejudicar órgãos e tecidos do corpo humano e dos animais. As fontes naturais desse metal são poeira, erupções vulcânicas, queima de biomassa e atividade biogênica. O chumbo também é comum na poluição atmosférica emitida pela atividade industrial (por exemplo, queima de carvão, fundições, plantas de processamento de metal, incineradores e gasolina com chumbo em automóveis). Os testemunhos de gelo da Groelândia e da Suíça mostram um aumento na quantidade de Pb com início no final do século XIX. Os níveis de chumbo aumentaram até a década de 70 e, então, começaram a decair. Esses dados parecem refletir o desenvolvimento e o aumento das emissões de chumbo a partir da industrialização dos Estados Unidos da América (EUA) e da Europa, bem como os padrões de qualidade do ar introduzidos nos EUA e na Europa em meados dos anos 70, permitindo a redução de emissões de Pb. Padrões diferentes de chumbo atmosférico são sugeridos pelos dados de Mt. Logan no noroeste do Canadá, onde o aumento da concentração começou no meio do século XX. Esse aumento na concentração de chumbo coincide com a industrialização chinesa (produção de carvão) que cresceu rapidamente desde os anos 50. O crescimento da indústria chinesa e a falta de políticas de qualidade do ar na Ásia, durante o século XX, podem explicar as diferenças de dados entre a Mt. Logan e a Groelândia.

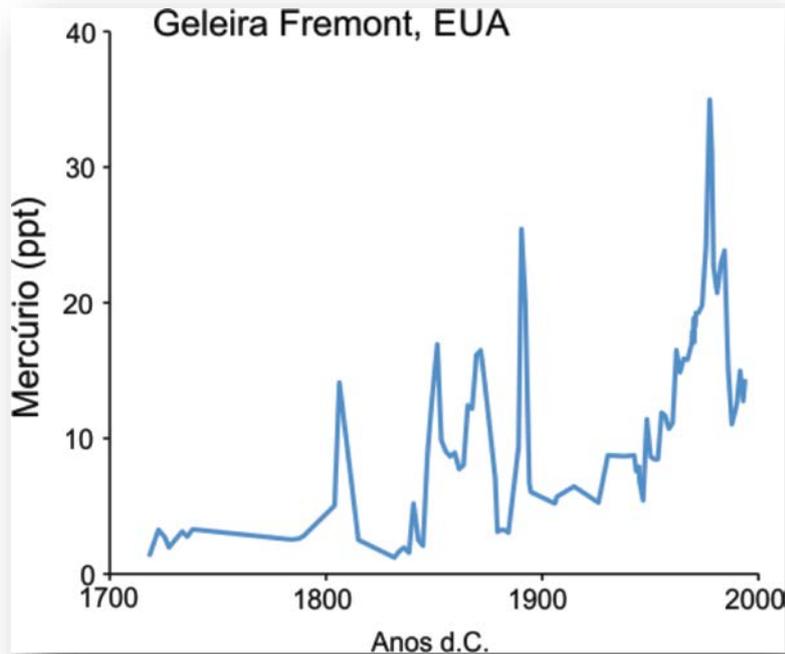


*Traduzido por Flávia Dias de Souza Moraes, Enoil de Souza Júnior e Jefferson Cardia Simões.



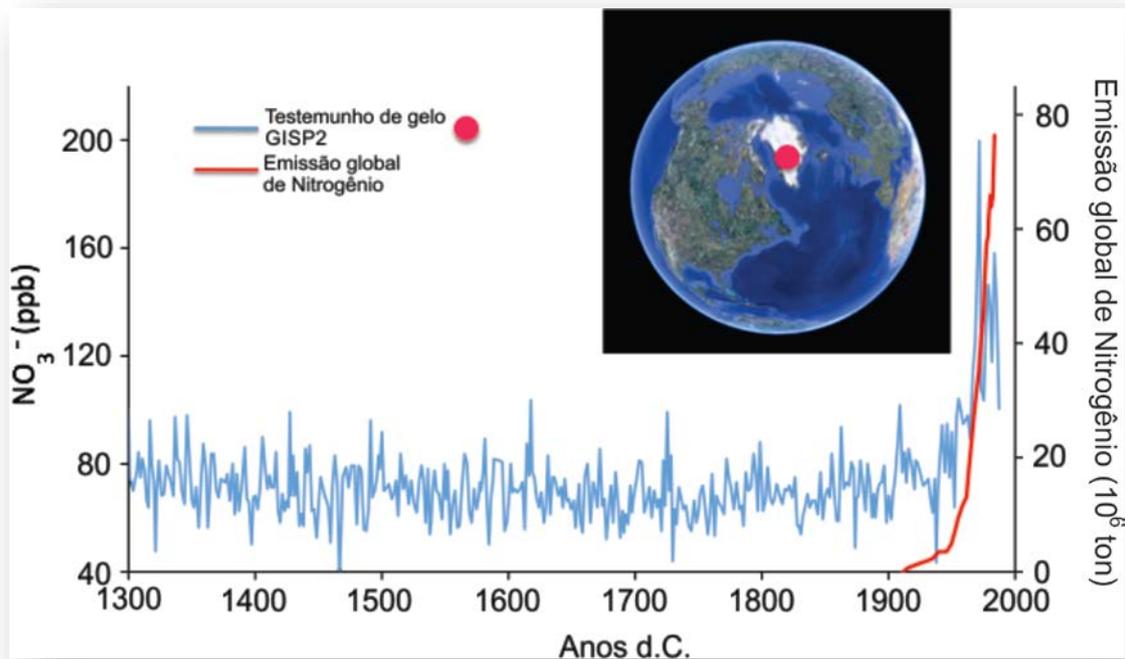
Mercúrio (Hg)

Mercúrio (Hg) é um elemento traço tóxico naturalmente encontrado no ar, na água, no solo e nas rochas. É um metal pesado que é altamente tóxico para os seres humanos e o meio ambiente. O mercúrio acumulado nos tecidos dos organismos que habitam ambientes contaminados por mercúrio pode ser levado até os seres humanos pela cadeia alimentar. As fontes naturais, como os vulcões, são responsáveis pela metade das emissões de mercúrio para atmosfera. A maioria do mercúrio emitido pelos seres humanos é proveniente das usinas de energia movidas a carvão. Os testemunhos de gelo revelam um aumento significativo de mercúrio na atmosfera durante o século XX.



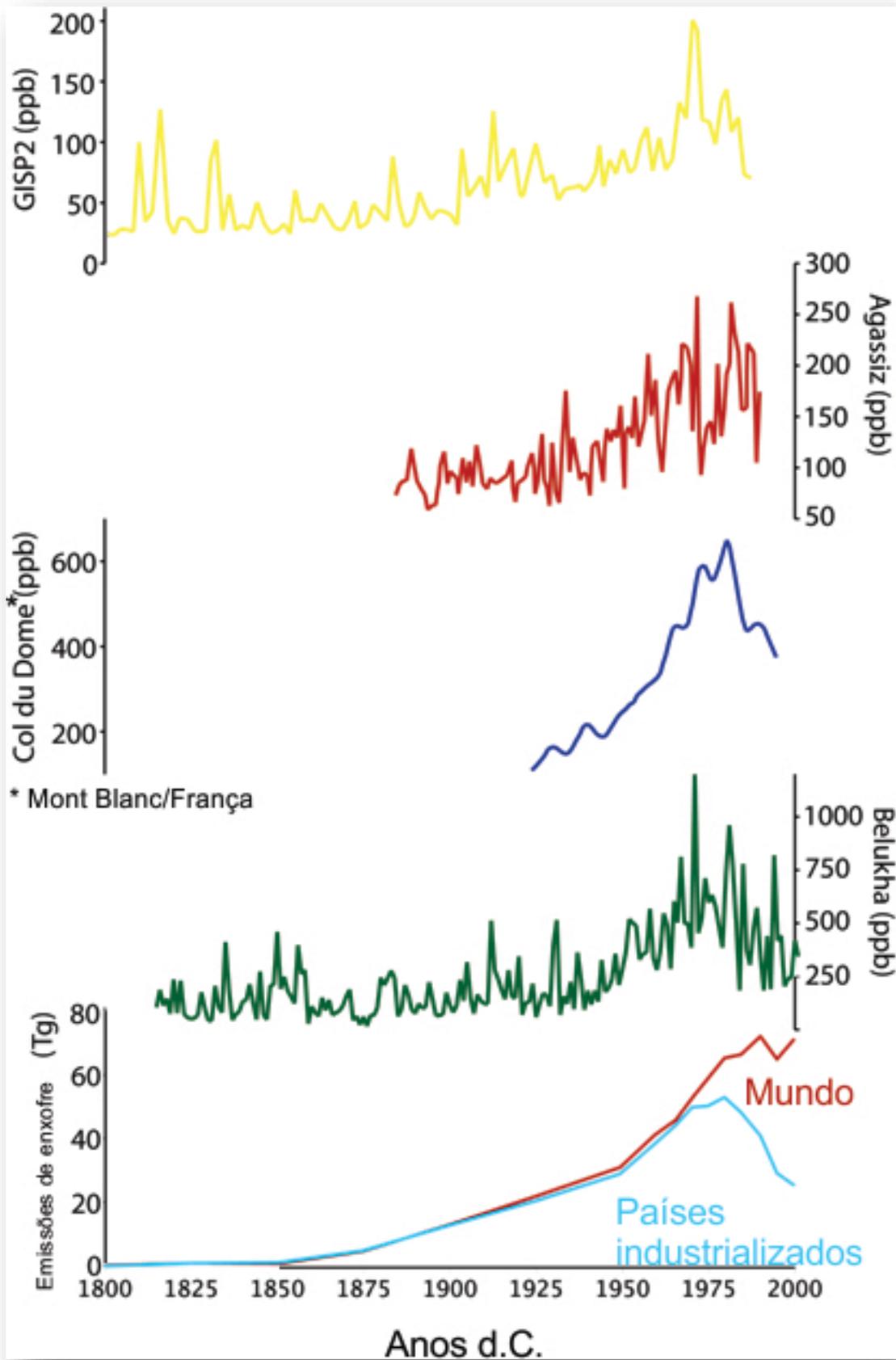
Nitrato (NO₃-)

Nitrato é um poluente comum que é derivado principalmente dos gases NO_x, como o dióxido de nitrogênio, na atmosfera. Os impactos ambientais da poluição por nitrato incluem chuva ácida, baixa qualidade da água e problemas respiratórios nos seres humanos. As fontes humanas do nitrato são a alta temperatura de combustão dos combustíveis fósseis, os fertilizantes e queima de biomassa. As fontes naturais de nitrato incluem exalação do solo (soil exhalation), queima de biomassa e relâmpagos. Os testemunhos de gelo dão uma perspectiva dos impactos humanos na concentração de nitrato ao longo do tempo. Os padrões de nitrato coincidem com a expansão das atividades industriais, agrícolas e com o crescimento da população ao longo do século XX.



Sulfato (SO_4^{2-})

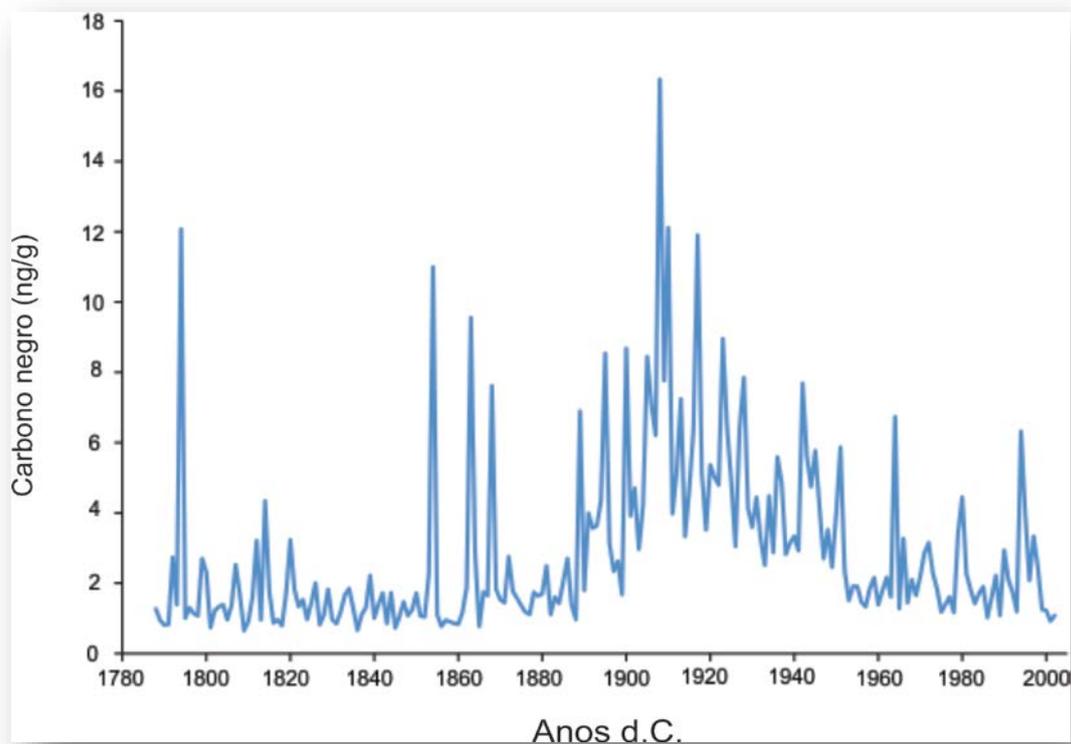
Os registros em alta resolução de sulfato, nos testemunhos de gelo, podem ser usados para investigar e avaliar o impacto das emissões de enxofre. As concentrações de sulfato medidas nos testemunhos de gelo, ao redor do mundo, mostram o aumento desde o final do século XIX, como resultado do aumento da combustão de carvão durante a Revolução Industrial. A atual diminuição de concentração de sulfato, em algumas amostras de testemunhos de gelo, desde o início dos anos 70, são atribuídos aos padrões restritos de qualidade do ar para as nações industrializadas, como a lei do ar limpo de 1972 dos EUA.



*Traduzido por Flávia Dias de Souza Moraes, Enoil de Souza Júnior e Jefferson Cardia Simões.

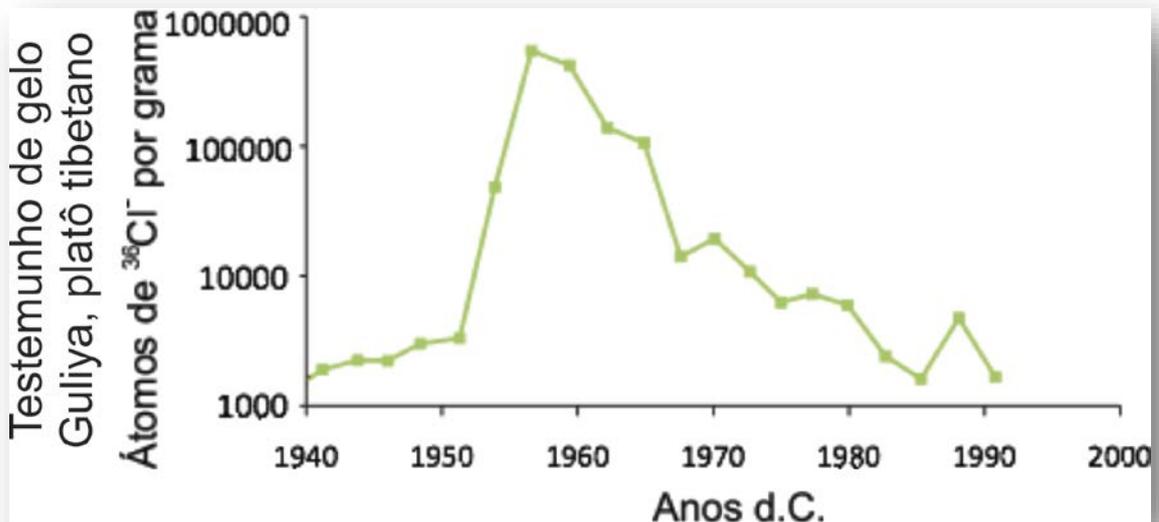
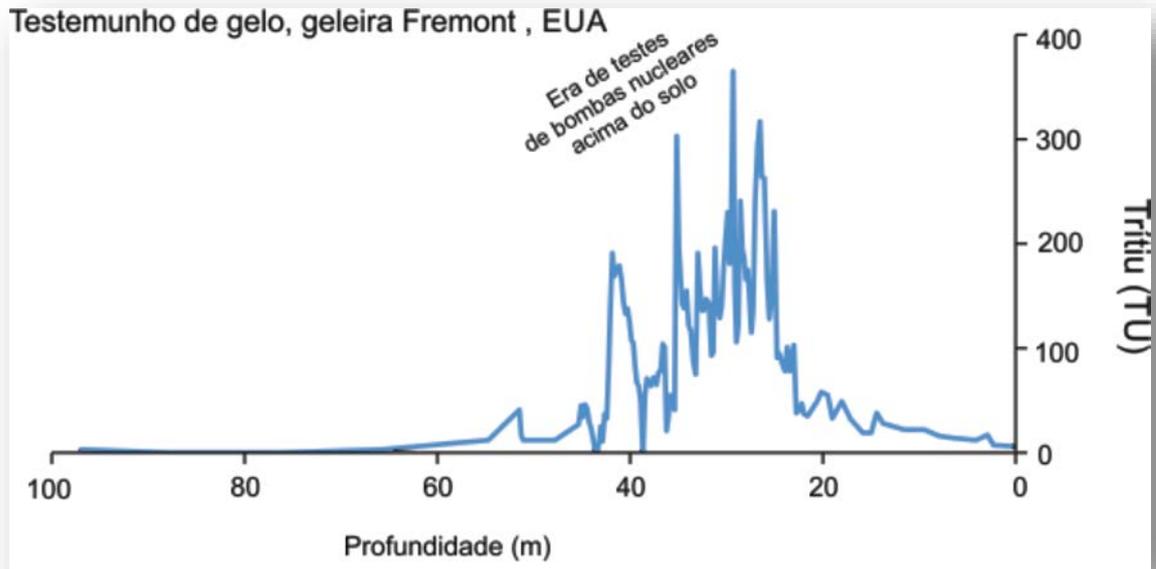
Carbono negro

As partículas de carbono negro são produzidas durante a combustão incompleta de combustíveis fósseis e queima de biomassa (por exemplo, queimadas florestais). A presença do carbono negro na atmosfera e na superfície terrestre é um dos principais contribuintes das mudanças climáticas globais. A alta capacidade de absorção de energia solar por parte desse carbono podem aumentar a temperatura da atmosfera, bem como ajudar a derreter o gelo e neve depositada sobre ele. As análises do carbono negro nos testemunhos de gelo mostram como os níveis tem mudado em algumas regiões do planeta ao longo dos últimos séculos.



Radioatividade

Trício (^3H), ^{36}Cl e atividade beta podem ser mensurados nos testemunhos de gelo para identificar radioatividade na atmosfera. Os testes com bombas nucleares, que aconteceram entre os anos 40 e o início dos anos 60, resultaram em um aumento dramático de material radioativo na atmosfera. Após o Tratado Parcial de Proibição de Testes, de 1963, a radioatividade na atmosfera tem diminuído. Os testemunhos de gelo foram capazes de identificar o desastre de Chernobyl, em 1986. A exposição humana à radiação traz sérios problemas à saúde, como câncer, envenenamento por radiação, esterilidade e doenças congênitas.



FUNDAMENTOS DO CLIMA

O clima é caracterizado pela temperatura, precipitação, circulação atmosférica e química da atmosfera de uma região, medido por um período de várias estações a décadas.

As diferenças de temperatura entre diferentes locais na Terra resultam de diferentes capacidades de absorção da radiação solar total nas regiões do planeta. As variações sazonais de temperatura estão relacionadas à inclinação do eixo terrestre em relação ao Sol.

*Traduzido por Flávia Dias de Souza Moraes, Enoil de Souza Júnior e Jefferson Cardia Simões.

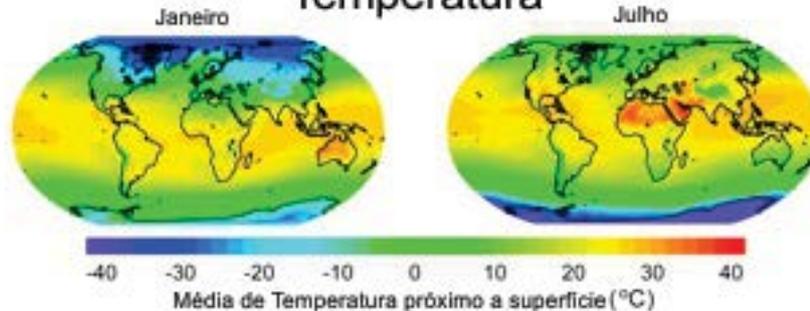
A precipitação está relacionada com a quantidade de água que cai sobre a superfície terrestre, em um local e um período de tempo específicos. Assim como a temperatura, a precipitação varia tanto espacial como sazonalmente. O total de precipitação que uma região recebe afeta dramaticamente as condições ambientais da mesma. Por exemplo, regiões que recebem muita chuva tendem a possuir uma fauna e flora abundante.

A circulação atmosférica refere-se aos três padrões dimensionais do fluxo de ar na atmosfera. Esses padrões são os maiores transportadores de calor e umidade na Terra.

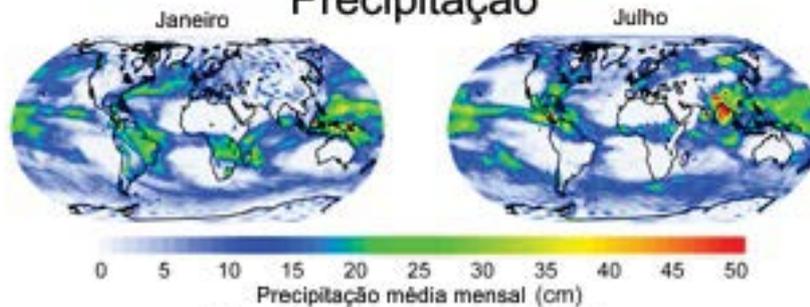
A química atmosférica, por sua vez, está relacionada a quantidade e composição dos gases, solúveis ou não, presentes na atmosfera. Esses gases influenciam o clima pela absorção ou dispersão da radiação solar e da saída de radiação terrestre (ondas longas).

O que é o clima?

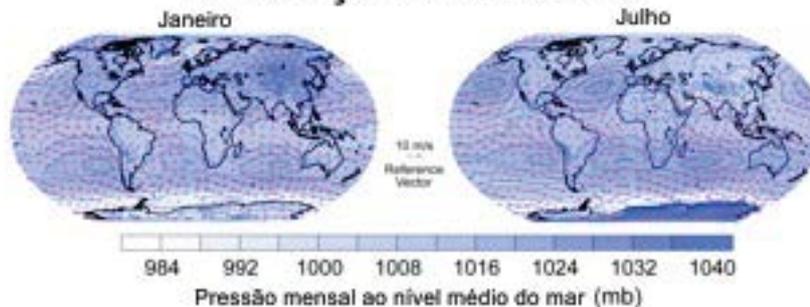
Temperatura



Precipitação



Circulação atmosférica



Química atmosférica

Gases do efeito estufa		Aerossóis	
Vapor d'água (H ₂ O)	Metano (CH ₄)	Poeira	Spray (borrifo) marinho
Dióxido de Carbono (CO ₂)	Ozônio (O ₃)		

O balanço de radiação terrestre é baseado no conceito no qual a radiação solar que chega ao planeta deve ser a mesma quantidade daquela emitida pela Terra. Absorção de radiação solar (ondas curtas) aumenta a temperatura do planeta, enquanto a emissão de radiação de ondas longas (calor) diminui a temperatura. Se a quantidade de radiação absorvida e emitida estão em balanço, a temperatura da Terra vai permanecer constante. São os desequilíbrios no balanço de radiação que causam as mudanças na temperatura do planeta.

Fatores naturais das mudanças do clima

Placas tectônicas: o movimento da crosta terrestre (placas tectônicas) influencia o clima por períodos de milhões de anos, por mudanças no arranjo dos oceanos e continentes.

Ciclos orbitais: mudanças na inclinação, excentricidade e oscilação da Terra em sua órbita ao redor do Sol influencia o clima em escalas de centenas de milhares de anos.

Circulação oceânica: o calor é transferido pelo oceano em períodos de tempos que podem variar entre décadas e milhares de anos, devido às mudanças na circulação oceânica (a densidade da água depende da temperatura e da salinidade da mesma).

Variabilidade solar: as variações na produção de energia solar influenciam o clima em escala de tempo de décadas a milhões de anos.

Dinâmica do gelo: a extensão de gelo, tanto do gelo marinho quanto das geleiras, afeta o clima, pois mudam o albedo terrestre (refletividade) e porque alteram a capacidade de absorção de calor dos oceanos. A extensão das geleiras também afeta o nível dos oceanos e isso gera impactos na escala de centenas de milhares de anos no clima. A extensão do gelo marinho possui variação anual.

Aerossóis naturais: as fontes naturais de aerossóis (partículas finas em suspensão, constituídas em parte por material sólido) são a água do mar, a poeira continental e o material vulcânico que impactam o clima global pelo espalhamento diferencial absorção e emissão de radiação solar e radiação terrestre. Os aerossóis possuem diferentes tempos de duração na atmosfera, variando de horas até vários anos.

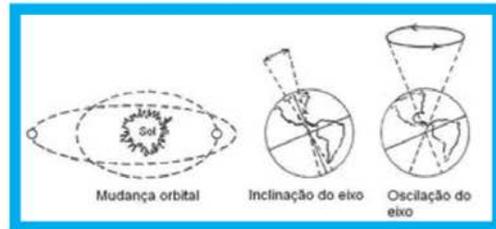
Gases de efeito estufa: os gases de efeito estufa (GEE) são os gases que absorvem e emitem radiação termal (calor) na atmosfera. Os principais GEE presentes na atmosfera da Terra são o vapor de água (H₂O), o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O) e o ozônio (O₃). Os gases de efeito estufa influenciam o clima em escalas de tempo de décadas a centenas de anos.

Fatores naturais que levam às mudanças climáticas

Placas tectônicas



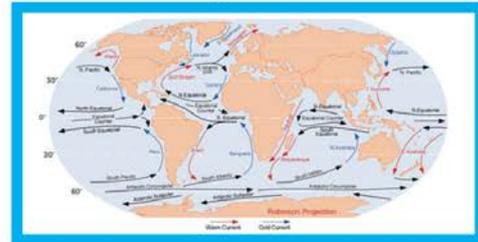
Ciclos orbitais



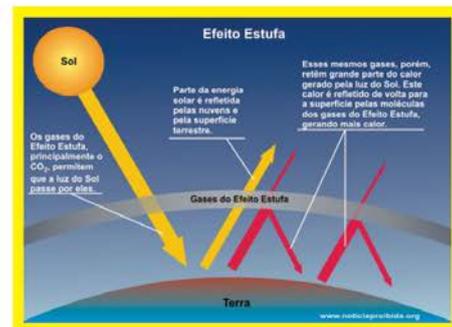
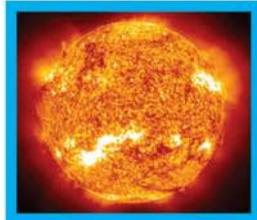
Dinâmicas do gelo



Circulação oceânica



Variabilidade solar



Aerossóis naturais



Escala de tempo (em anos)

- Milhões
- Milhares
- Centenas
- Anual

Referências

- Blunier et al., 1995, Nature*
Chappallez et al., 1999, Nature
Etheridge et al. 1994, Trends
Etheridge et al., 1996, JGR
Etheridge et al., 1998, JGR
Hong et al., 1994, Science
Hong et al., 1996, Science 1994, Trends
Schuster et al., 2002, Env. Sci.
Hou et al., 2002, Annals of Glac.
Mayewski et al., 1986, Science
Stauffer et al., 1998, Nature
<http://data.giss.nasa.gov/modelforce/>
<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/>
Indermühle et al., 1999, Nature
Kang et al., 2001, J. Glac.
Kang et al., 2002, Atmosp. Env.
Kang et al., 2002, J. Geophys. Res.
Leuenberger and Siegenthaler,
Mayewski et al., 1986, Science
Mayewski et al., 1990, Nature
Petit et al., 1999, Nature
Qin et al., 2002, Annals of Glac
Dr. Pieter Tans, NOAA/ESRL (www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/) and Dr. Ralph Keeling, Scripps Institution of Oceanography (scrippsco2.ucsd.edu/).
- Etheridge, D.M., et al. 2010. Law Dome Ice Core 2000-Year CO₂, CH₄, and N₂O Data. IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series # 2010-070. NOAA/NCDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA.*
- Lüthi, D., et al.. 2008. EPICA Dome C Ice Core 800KYr Carbon Dioxide Data. IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series # 2008-055. NOAA/NCDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA*
Louergue, L., et al.. 2008. EPICA Dome C Ice Core 800KYr Methane Data. IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series # 2008-054. NOAA/NCDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA.
- Etheridge, D.M., et al. 2010. Law Dome Ice Core 2000-Year CO₂, CH₄, and N₂O Data. IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series # 2010-070. NOAA/NCDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA.*
- Flückiger, J., A. Dällenbach, B. Stauffer, 1999, N₂O Data Covering the Last Millennium. IGBP Pages/World Data Center-A for Paleoclimatology Data Contribution Series # 1999-058 NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA.*
- McConnell, J.R., and R. Edwards. 2008. Greenland Ice Core ACT2 Toxic Heavy Metals Data. IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series # 2008-079. NOAA/NCDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA.*

US Lead Emissions: <http://cfpub.epa.gov/eroe/index.cfm?fuseaction=detail.viewInd&lv=list.listbyalpha&r=216603&subtop=341>

Schwikowski, M., Barbante, C., Doering, T., Gaeggeler, H., Boutron, C., Schotterer, U., Tobler, L., Van de Velde, K., Ferrari, C., Cozzi, G., Rosman, K., and Cescon, P., (2004) *Post-17th-Century Changes of European Lead Emissions Recorded in High-Altitude Alpine Snow and Ice. Environmental Science and Technology.* 38, 4.

Osterberg, E., et al. 2008. *Mt. Logan PR Col Ice Core 7,400 Year Glaciochemical Data. IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series # 2008-094. NOAA/NCDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA.*

International historical statistics : Africa, Asia & Oceania, 1750-1993 / B.R. Mitchell. London : Macmillan Reference ; New York : Stockton Press, 1998. [Van Pelt Library Reference Stacks: HA4675 .M573 1998]

Schuster, P.F., et al., 2002, *Fremont Glacier Atmospheric Mercury Data, IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series # 2002-038. NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA.*

Mayewski, P.A., W.B. Lyons, M.J. Spencer, M.S. Twickler, C.F. Buck, and S.I. Whitlow. 1990. *An ice core record of atmospheric response to anthropogenic sulphate and nitrate. Nature* 346:554-556.

Grubler, A., (2002) *Trends in Global Emissions: Carbon, Sulfur, and Nitrogen. Causes and consequences of global environmental change, Encyclopedia of Global Environmental Change . Vol. 3, pp 35-53*

Preunkert, S., Legrand, M., Wagenbach, D., (2001) *Sulfate trends in a Col du Dome (French Alps) ice core: A record of anthropogenic sulfate levels in the European midtroposphere over the twentieth century. Journal of Geophysical Research, 106 (D23), 31991-32,004*

Koerner, R.M., Fisher, D.A., Goto-Azuma, K., (1999) *A 100 year record of ion chemistry from Agassiz ice cap Northern Ellesmere Island NWT, Canada Atmospheric Environment* 33 (3), 347-357

Mayewski, P.A., W.B. Lyons, M.J. Spencer, M.S. Twickler, C.F. Buck, and S.I. Whitlow. 1990. *An ice core record of atmospheric response to anthropogenic sulphate and nitrate. Nature* 346:554-556.

Olivier, S., Blaser, C., Brüttsch, S., Frolova, N., Gäggeler, HW., Henderson, K.A., Palmer, A.S., Papina, T., Schwikowski, M., (2006) *Temporal variations of mineral dust, biogenic tracers, and anthropogenic species during the past two centuries from Belukha ice core, Siberian Altai, J. Geophys. Res, 111.*

Grubler, A., (2002) *Trends in Global Emissions: Carbon, Sulfur, and Nitrogen. Causes and consequences of global environmental change, Encyclopedia of Global Environmental Change . Vol. 3, pp 35-53*

McConnell, J.R., et al. 2007. *Greenland D4 Ice Core Black Carbon, VA, and nssS Data*. IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series # 2007-060. NOAA/NCDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA.

Schuster, P.F., et al., 2004, Fremont Glacier 1991 Core Tritium Data. IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series # 2004-079. NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA.

Green et al., (2004) A high resolution record of chlorine-36 nuclear-weapons-tests fallout from Central Asia. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 223–224 854–857

Dibb et al., (1990) Beta Radiation from Snow. *Nature* Vol. 345

Kalnay et al., 1996, *Bull. Amer. Meteor. Soc.* <http://www.cdc.noaa.gov>

<http://www.crh.noaa.gov/crh/>

<http://www.about.com/> <http://www.skimall.net/>

<http://images.livescience.com/>

<http://meteorology.lyndonstate.edu/main/>

<http://science.nasa.gov/>

<http://mrsdlovesscience.com/>

<http://www2.umaine.edu/itase/>

Petit, J.R., et al., 2001, *Vostok Ice Core Data for 420,000 Years*, IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series #2001-076.

NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA.

Mayewski et al., (2006) Recent warming inconsistent with natural association between temperature and atmospheric circulation over the last 2000 years, *Clim. Past Discuss.*, 2, 1–29. 2