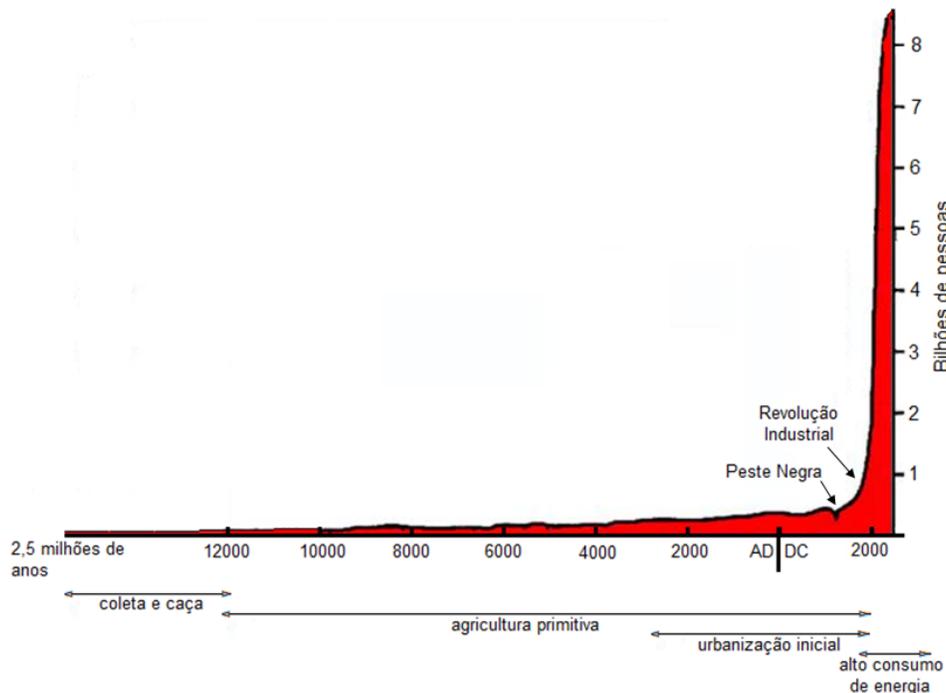


Texto Base: Aula 28

Causas e mitigação de impactos ecológicos

Autor: Ana Lúcia Brandimarte

A espécie humana está sujeita à ação de fatores limitantes como qualquer outra espécie, mas o que a diferencia das demais é conseguir, na medida do possível, controlar o efeito destes fatores. Assim, pode construir casas na qual a temperatura é de certo modo controlada, permitindo amenizar os efeitos de temperaturas muito altas ou muito baixas. Procura evitar o efeito de parasitas causadores de doenças por meio de vacinação e outros tipos de medicamentos. Diminui a limitação por recursos alimentares por meio do aumento da produtividade agropecuária. Aumenta a disponibilidade de água estocando-a em represas. Aumenta o número de horas iluminadas no dia por meio da energia elétrica e assim por diante. Estas ações permitiram um aumento artificial da capacidade de suporte do ambiente para a espécie humana e que a população humana global crescesse de maneira exponencial.



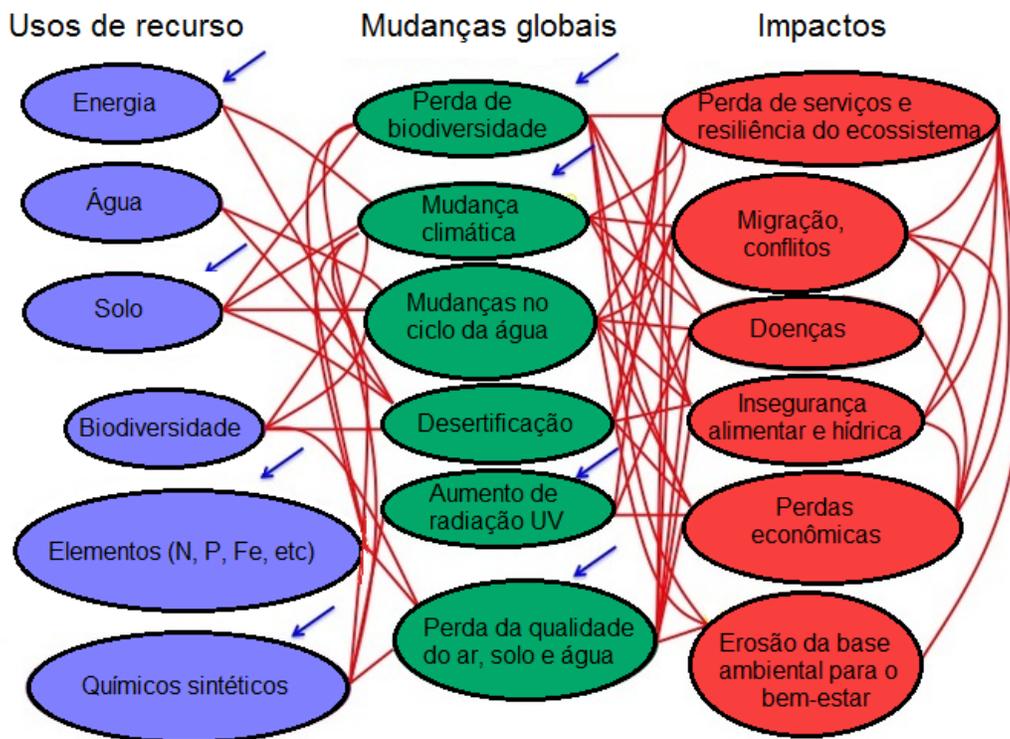
Esta busca pelo controle dos fatores limitantes tem se dado às custas da utilização de *energia extrassomática*, ou seja, de energia não associada ao metabolismo corpóreo e cuja utilização depende do domínio de tecnologia.

O fogo foi a primeira forma de energia extrassomática utilizada pelo gênero *Homo* e a partir de seu domínio, o homem passou a alterar o ambiente como nenhuma outra espécie. Foi com o advento da Revolução Industrial, em 1765, no entanto, que a utilização de energia extrassomática

creceu exponencialmente, ao mesmo tempo propiciando e acompanhando o crescimento populacional humano, o que tem resultado em impactos crescentes sobre o ambiente, tanto em termos de variedade como de quantidade.

Como consequência do uso crescente de recursos naturais pelos seres humanos, decorrente do crescimento populacional, mas também dos padrões de consumo baseados na aquisição de bens altamente tecnológicos, ocorreu um aumento relevante de sua *pegada ecológica*. Esta é definida em função da quantidade de água e de terra biologicamente produtiva necessária para uma determinada atividade (ex.: produção de um bem industrial, de alimento, entre outros) e inclui a oferta de recursos renováveis e a capacidade do ambiente absorver e reciclar os resíduos provenientes desta atividade.

A partir de meados do século XX, sobretudo, os impactos antropogênicos (do grego *anthropos* = homem e *gênesis* = origem) negativos passaram a atingir uma escala planetária, popularizando o uso da expressão *mudanças globais* em referência aos impactos que podem alterar a capacidade da Terra de sustentar os seres vivos. Tais impactos afetam processos chave relacionados ao funcionamento da biosfera. Estas alterações em grande escala decorrem do uso de grande variedade de recursos pelo homem que, por sua vez, está associado a impactos regionais ou locais, tanto ambientais como sociais e econômicos. Entre as mudanças globais estão incluídos perda da biodiversidade, aquecimento da temperatura global, redução da camada de ozônio, alteração do ciclo da água e de outros elementos essenciais para a população humana, desertificação, entre outros.



Fonte: modificado de <http://theconversation.com/what-is-global-change-6447>

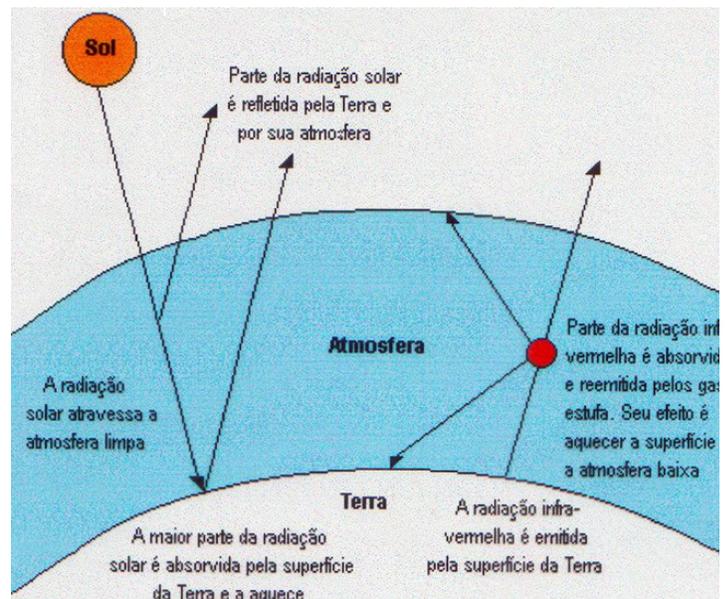
Qualquer impacto, independente de ocorrer em escala local ou regional, tem alta probabilidade de contribuir para duas das categorias de mudanças globais: perda de biodiversidade

e alteração de ciclos biogeoquímicos. A perda da biodiversidade ocorre em função da degradação e perda de habitats e também pela exploração da própria biodiversidade. Em relação aos ciclos biogeoquímicos ocorre alteração das taxas de troca entre os vários compartimentos nos quais os materiais são estocados, com conseqüente desequilíbrio nas transferências.

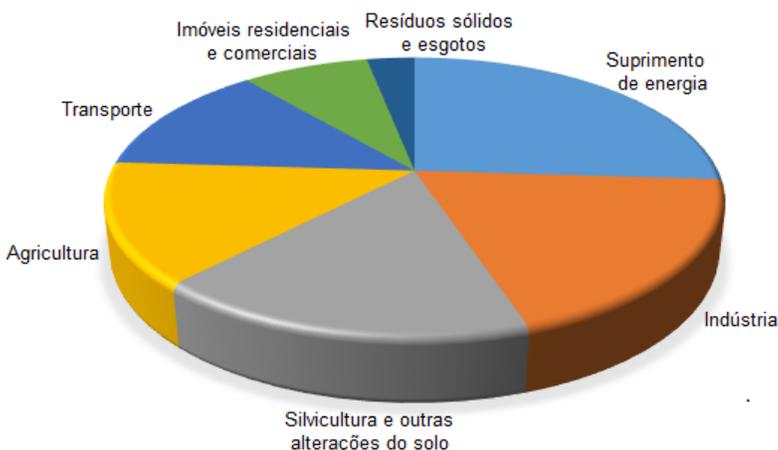
Aquecimento global

O aquecimento global tem potencial de causar grandes transformações climáticas no nível planetário como aumento de temperatura, inclusive em regiões atualmente mais frias, precipitação maior em determinados locais e aumento da escassez de água em outros, além do aumento do nível do mar. Estas alterações, por sua vez, podem interferir na saúde dos seres humanos e de outras espécies, produção agrícola, distribuição das áreas florestais, disponibilidade de recursos hídricos, além de resultar em diminuição das áreas costeiras e perda de biodiversidade. Esta mudança climática resulta da somatória de impactos relacionados a atividades humanas regionais e locais que potencializam o efeito estufa.

O *efeito estufa* é um fenômeno natural que ocorre na troposfera, na qual parte da radiação infravermelha emitida pelo sol é absorvida e reemitida por determinados gases provocando o aquecimento da superfície do planeta. Vapor d'água, dióxido de carbono, metano, óxido nitroso e ozônio são gases de efeito estufa que são componentes naturais da atmosfera, mas que em excesso se tornam poluentes. Além disso, desde a década de 1930, há a contribuição dos clorofluorcarbonos (CFCs) que têm sido substituídos por outros gases artificiais que também são causadores de efeito estufa.



Fonte: modificado de [Goldemberg](#), 1998

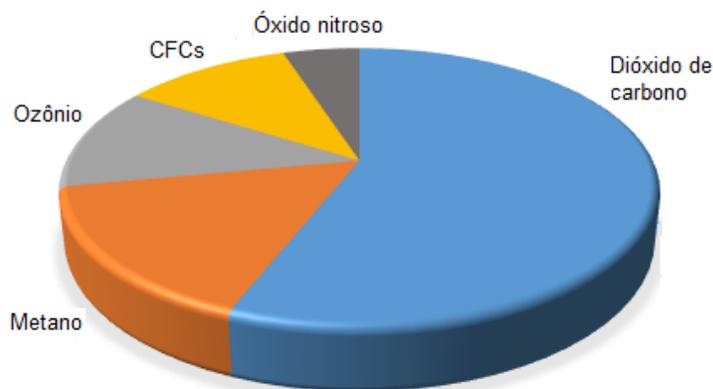


Fonte: modificado de http://www.ipcc.ch/publications_and_data/

A utilização de quantidades crescentes de energia, fortemente baseada na utilização de combustíveis fósseis, as atividades industriais e a alteração do uso e ocupação do solo estão entre as principais atividades humanas que resultam em aumento da emissão de gases de efeito estufa.

Entre os gases de efeito estufa, o que tem maior potencial de aquecimento global é o vapor d'água. No entanto, este não tem relação tão direta com as emissões antropogênicas para a atmosfera como os demais. Considerando-se o potencial de aquecimento pela molécula do dióxido de carbono como padrão, equivalendo a 1, os gases com maior potencial de aquecimento em ordem crescente são dióxido de carbono (1), metano (11), óxido nitroso (270) e os CFCs cujo potencial varia de acordo com o tipo de CFC (7.100 para o CFC-12, por exemplo).

Com base no seu baixo potencial de aquecimento, poderia causar estranheza o motivo de tanta preocupação com o dióxido de carbono quando se fala em aquecimento global. Acontece que este gás, apesar de ter menor potencial de aquecimento, é o que apresenta maior concentração na atmosfera, contribuindo com 55% da produção de efeito estufa. Um dado preocupante, uma vez que as emissões de dióxido de carbono têm aumentado continuamente desde a revolução industrial.



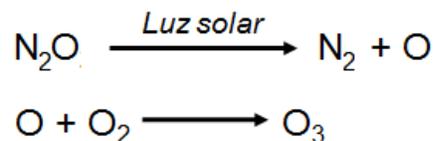
Fonte: modificado de http://www.ipcc.ch/publications_and_data/

As fontes antropogênicas de dióxido de carbono para a atmosfera são, principalmente, a queima de combustíveis fósseis e o desmatamento, no qual o carbono deixa de ser estocado na biomassa por meio da fotossíntese. Além disso, queimadas contribuem para a liberação rápida do carbono estocado na biomassa para a atmosfera.

Entre as atividades antropogênicas que mais contribuem para a emissão de metano estão a queima de combustíveis fósseis, aterros sanitários, agricultura e queimadas. Embora seja uma fonte natural, a emissão pelos ruminantes é aumentada em função de uma das atividades humanas, a pecuária.

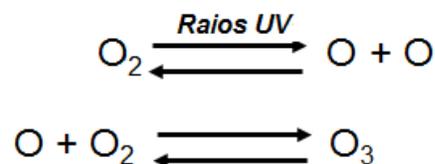
As emissões antropogênicas de óxido nitroso estão relacionadas à utilização de fertilizantes nitrogenados na agricultura, queima de vegetação natural, tratamento de esgotos (o óxido nitroso é uma das formas nitrogenadas resultantes da decomposição da matéria orgânica presente no esgoto), queima de combustíveis fósseis, além de diversos processos industriais.

O ozônio antropogênico (O₃) presente na troposfera provém da queima da biomassa e da fotólise (quebra pela luz solar) de óxido nitroso (N₂O), estando envolvidas duas reações químicas na sua produção.



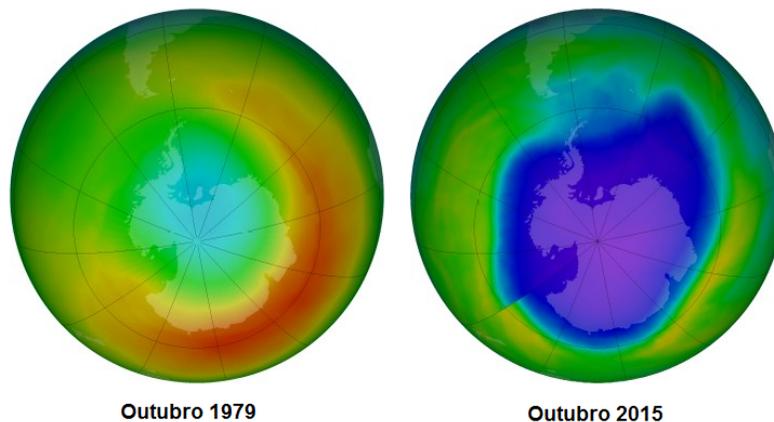
Redução da camada de ozônio

Na estratosfera o ozônio resulta da quebra de moléculas de oxigênio (O₂) por raios ultravioleta, havendo liberação de dois átomos de oxigênio (O) que podem se recombinar ou reagir com uma outra molécula de oxigênio formando ozônio (O₃).



Enquanto a ocorrência de ozônio na troposfera traz efeitos negativos associados ao aquecimento global e a doenças respiratórias, na estratosfera este gás tem um papel importante na proteção à biota do planeta. Na camada de ozônio, na verdade uma região da estratosfera na qual existe maior concentração deste gás, os raios ultravioleta B (UVB) emitidos pelo sol. Como consequência, cerca de 95% destes raios, que afetam negativamente a biota e que, de outra forma, atingiriam a superfície da Terra, são filtrados.

Desde meados da década de 1950, a espessura da camada de ozônio tem sido medida no Hemisfério Sul e a partir do final da década de 1970 foi observada uma redução crescente da camada de ozônio sobre a Antártida, em determinados meses do ano. Esta redução tem sido chamada de buraco da camada de ozônio, embora não se trate de um buraco propriamente dito. A Agência Espacial Norte-Americana (NASA) acompanha diariamente as alterações da espessura da camada de ozônio ao longo do ano. A diferença na concentração de ozônio sobre a Antártida, no mês de outubro, entre os anos de 1979 e 2015 pode ser visualizada abaixo. Nas imagens em falsa cor os tons azul e roxo indicam as menores concentrações de ozônio, enquanto os tons amarelos e vermelhos indicam onde há mais ozônio.



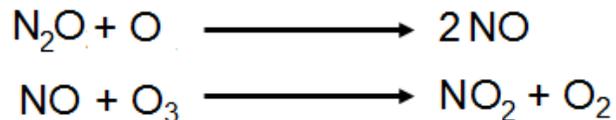
Fonte: <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/monthly/SH.html>

A redução da espessura da camada de ozônio está relacionada à presença de CFCs na estratosfera, uma categoria de gases utilizados em aerossóis e refrigeração. Na estratosfera suas moléculas sofrem fotólise por raios UVB, havendo liberação de cloro. Uma vez liberado, o cloro reage rapidamente com o ozônio, quebrando esta molécula. Apesar de não serem tóxicos, os CFCs afetam os seres vivos de forma indireta. A diminuição da concentração de ozônio resulta em menor absorção de raios UVB que, portanto, atingem a superfície terrestre em maior quantidade, com efeitos marcantes sobre a biota.

A partir do reconhecimento do efeito negativo dos CFCs sobre a camada de ozônio, seu uso tem sido proibido em muitos países e foram criadas novas substâncias para substituí-los. Assim surgiram os hidroclorofluorcarbonos (HCFCs) que, por conter cloro, também provocam a redução da camada de ozônio, embora com potencial menor que os CFCs. Por outro lado, também apresentam elevado potencial de efeito estufa. Assim, o uso dos HCFCs também está sendo reduzido, havendo metas internacionais de que seja eliminado até 1990. Outra alternativa consiste no uso de

hidrofluorcarbonos (HFCs) que, por não conterem cloro, não ameaçam a camada de ozônio. No entanto, assim como os CFCs e HCFCs, os HFCs são potentes causadores de efeito estufa.

Desde o final da primeira década do século XXI, a comunidade científica tem demonstrado preocupação também com o efeito do óxido nitroso sobre a camada de ozônio, visto que a concentração daquele gás tem aumentado na estratosfera. Nesta camada o óxido nitroso pode ser oxidado produzindo óxido nítrico (NO). A presença de óxido nítrico pode contribuir para a redução da camada de ozônio, uma vez que reage com ozônio, havendo liberação de dióxido de nitrogênio e oxigênio molecular.



Desertificação



Fonte: <https://dfrural.wordpress.com/tag/desertificacao/>

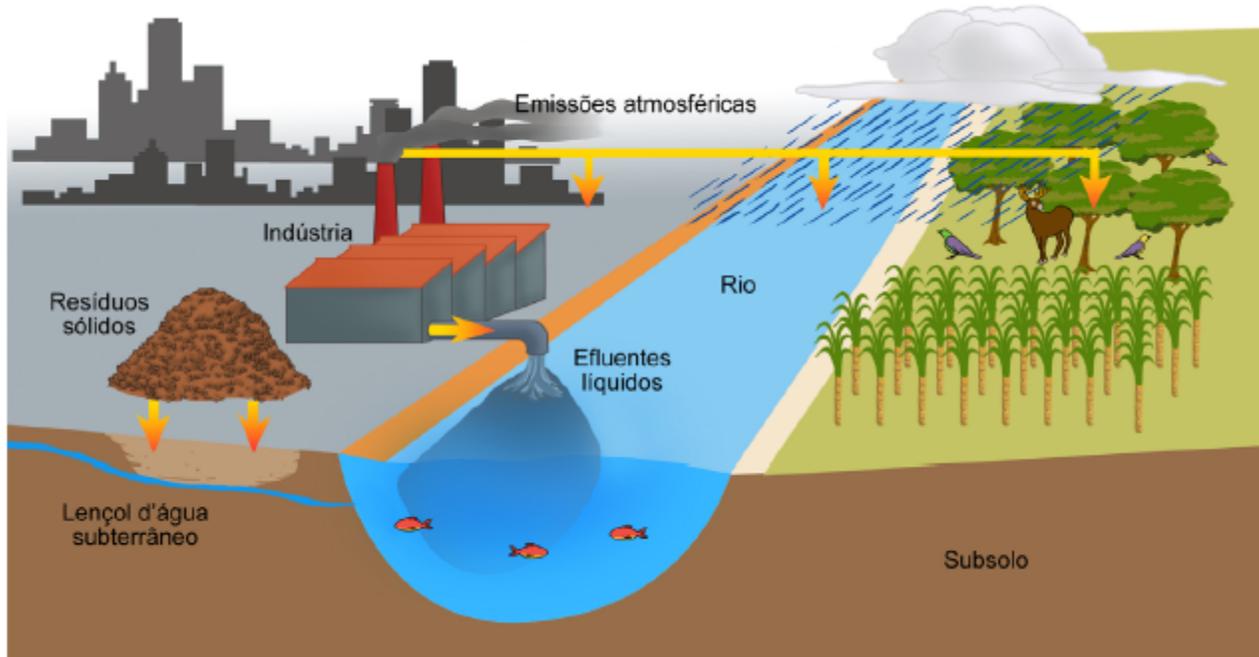
Desertificação é definida como a expansão de áreas que apresentam condições ambientais similares às de deserto, em regiões áridas (precipitação total inferior a 200mm por ano), semiáridas (precipitação não excede 500mm por ano – chuvas de inverno – ou 800 mm por ano – chuvas de verão) e sub-úmidas (volume da precipitação total é equivalente a pelo menos a metade do volume de água evaporado). Este impacto é resultante de atividades regionais ou locais que envolvem desmatamento e/ou de mudanças climáticas. Como resultado, há diminuição do volume dos corpos d'água, além de perda de biodiversidade.

O processo de desertificação está relacionado à *degradação dos solos*, representada pela perda de fertilidade que pode vir associada à queda da quantidade de matéria orgânica e acúmulo de minerais no solo. Além disso, pode ocorrer alteração na estrutura do solo, devido a dessecação ou erosão, e redução de sua permeabilidade, havendo menor reposição de água para os lençóis subterrâneos e, portanto, queda do volume de água aí armazenado. No Brasil, a desertificação está relacionada à abertura de áreas para práticas agrícolas e pecuária extensiva.

Degradação da qualidade da água

A maioria senão todas as atividades antrópicas resultam em degradação da qualidade das águas tanto continentais como marinhas. Poluentes atingem os corpos d'água via escoamento superficial da água de chuva que lava os solos, por deposição atmosférica úmida (carreamento pela precipitação) ou seca (deposição na superfície na ausência de chuva), pela liberação de efluentes líquidos tanto domésticos como industriais. Uma forma indireta de degradação pode acontecer em corpos d'água que são alimentados por água subterrânea poluída. Sem dúvida, a indústria e a

agropecuária, bem como os resíduos de ambas, e os efluentes líquidos e resíduos sólidos de origem doméstica estão entre os principais degradadores dos corpos d'água continentais.



Fonte: modificado de Chevreuil e Granier, 1992

O desmatamento para variados fins também tem impactos profundos sobre os corpos d'água, pois a exposição do solo facilita os processos de erosão e transporte de material particulado, via escoamento superficial das águas de chuva, para o interior dos corpos d'água. Este fato resulta em assoreamento e diminuição do volume destes ambientes, além de alteração dos habitats disponíveis para a biota. Espécies aquáticas sensíveis a tais alterações podem ter suas populações diminuídas ou, ainda, sofrer extinções locais, com consequências para outras espécies que compõem o ecossistema.

- Eutrofização

O aumento de nutrientes inorgânicos na água, ou seja, seu enriquecimento, é denominado *eutrofização*. Corpos d'água eutróficos apresentam, portanto, elevada concentração de nutrientes, situação contrária à encontrada em ambientes oligotróficos. A entrada de esgotos domésticos em corpos d'água, além de contaminá-las com microrganismos causadores de inúmeras doenças, provoca profundas alterações na estrutura e função destes ambientes. A decomposição da matéria orgânica presente no esgoto por microrganismos aeróbios resulta em queda da concentração de oxigênio dissolvido na água, podendo, em certos casos, chegar a zero. Como consequência, há diminuição da riqueza de espécies, com substituição de muitas espécies sensíveis por poucas resistentes a baixas teores de oxigênio, que atingem grande abundância passando a dominar na comunidade.

A decomposição da matéria orgânica também resulta no aumento da concentração de nutrientes inorgânicos na água (eutrofização), principalmente nitrogênio e fósforo que são rapidamente utilizados por determinadas espécies de cianobactérias, algas e *macrófitas* (macroalgas e plantas aquáticas ou semiaquáticas como o aguapé, por exemplo), que têm maior eficiência no aproveitamento da grande disponibilidade de recursos e rapidamente atingem elevada abundância (*floração*) e biomassa.

Durante as horas iluminadas do dia, os organismos fotossintetizantes podem liberar grande quantidade de oxigênio dissolvido na água. No entanto, ao mesmo tempo em que há produção de biomassa e, portanto, de oxigênio, há morte de indivíduos cuja decomposição também contribui para a queda do teor de oxigênio, principalmente à noite quando há apenas consumo de oxigênio.

A alteração da riqueza, composição e abundância dos produtores primários reflete em alterações dos mesmos fatores para os demais níveis tróficos nas cadeias alimentares. Como resultado há diminuição da diversidade de espécies, relacionada à diminuição da riqueza e aumento de dominância.

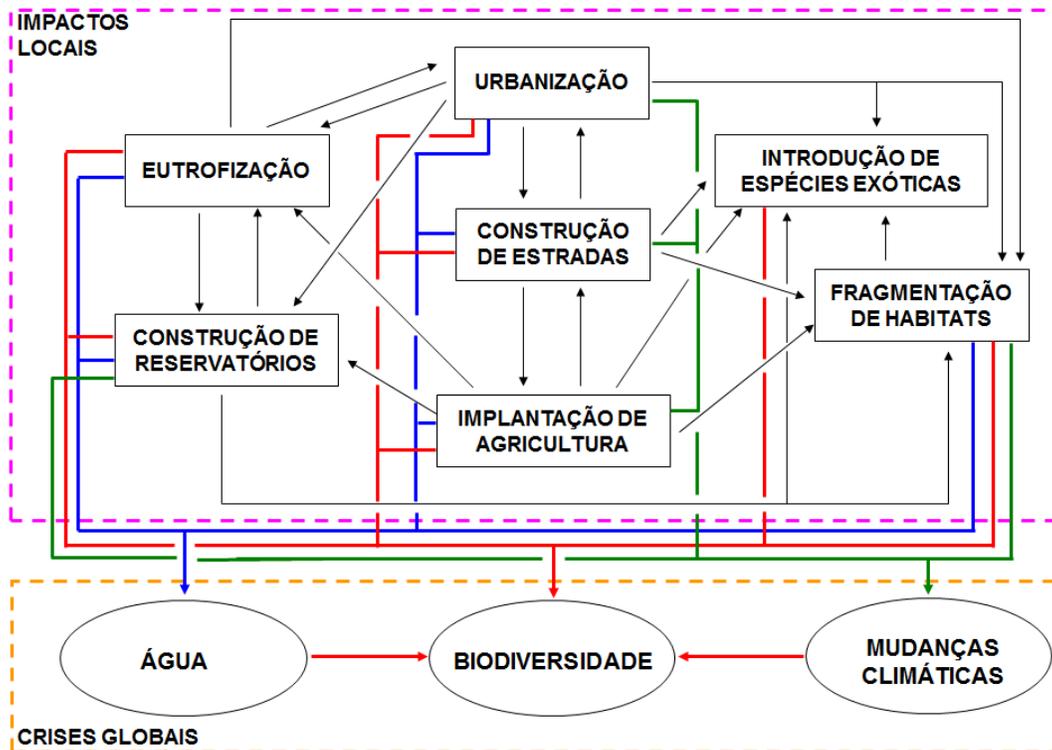
Os mesmos efeitos observados na eutrofização devida ao enriquecimento dos corpos d'água por esgoto doméstico *in natura* (sem tratamento) ocorrem, por exemplo, quando há entrada de matéria orgânica resultante de outras fontes, como estações de tratamento de esgotos (ETEs), ou quando há entrada de nutrientes inorgânicos devido à lavagem de solos de áreas agrícolas nas quais foram utilizados fertilizantes sintéticos.



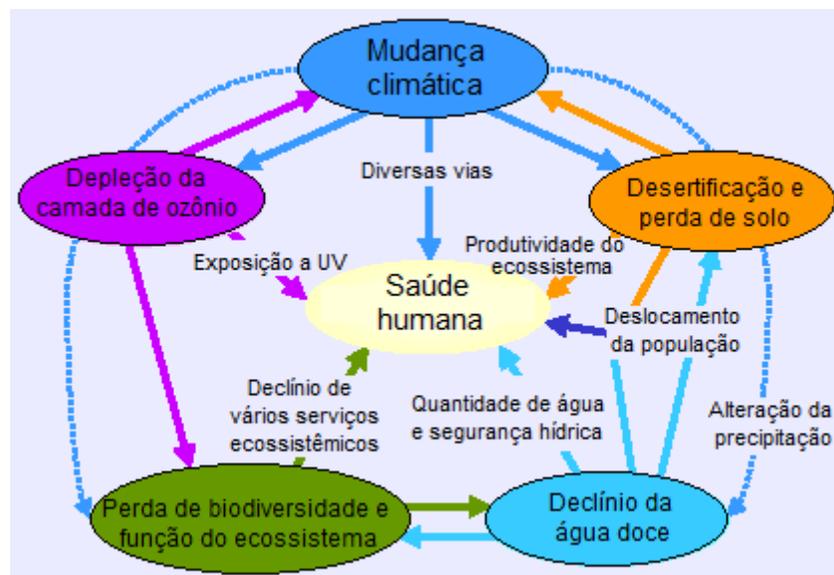
Mitigação de impactos

A mitigação de impactos ambientais não é uma tarefa simples e a recuperação de ambientes degradados é ainda mais complexa, sendo mesmo impossível em determinados casos.

A partir do exposto nesta aula sobre alguns impactos ambientais, pode-se imaginar que vários impactos em menor escala podem estar interligados contribuindo para mudanças observadas em escala planetária, como exemplificado no esquema a seguir, o qual mostra as relações existentes entre diferentes tipos de impactos ambientais locais ou regionais e destes com mudanças globais. Estas últimas também podem estar relacionadas entre si. Estes fatos constituem complicadores para a mitigação dos impactos ambientais e implicam na necessidade de uma visão integrada para a tomada de decisões.



É evidente que, além de serem negativos para a biota dos diferentes ecossistemas, os impactos ambientais têm potencial de prejudicar também a espécie humana devido, por exemplo, ao possível aumento de doenças e à redução de recursos naturais, comprometendo sua oferta, inclusive futura. O esquema a seguir trata especificamente de interações existentes entre as várias mudanças globais, focando no seu efeito sobre a população humana.



Fonte: modificado de <http://www.who.int/globalchange/climate/en/>

Dependendo de sua intensidade e frequência, os impactos ambientais resultam em diminuição da *resiliência dos ecossistemas*, definida como velocidade com a qual um determinado ecossistema retorna à condição anterior à ocorrência de uma alteração. Um ecossistema com baixa resiliência pode não se recuperar após um determinado impacto, com conseqüente diminuição dos *serviços ecossistêmicos*, ou seja, dos serviços que os ecossistemas naturais proporcionam aos seres humanos. Entre estes podem ser citados o fornecimento de bens como alimentos e matéria prima para vários fins, regulação do clima, controle de enchentes, benefícios recreacionais e estéticos, além de processos como a ciclagem de nutrientes e a produção primária que propiciam a existência dos outros serviços. Estas questões apontam para a necessidade de *mitigação*, ou seja, da minimização dos impactos ambientais.

A mitigação dos impactos relacionados aos gases de efeito estufa e, portanto, ao aquecimento global depende, entre outros fatores, da diminuição da emissão antropogênica destes gases. Tal diminuição é possível, entre outras ações, a partir da substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis de energia e por alterações nos processos industriais, de forma a reduzir o uso de combustíveis fósseis e a produzir, por exemplo, veículos menos poluentes. O desmatamento e a queima de vegetação florestal, por sua vez, devem ser efetivamente controlados e, na medida do possível, evitados, sobretudo em áreas protegidas por lei.

A tentativa de minimizar a perda da camada de ozônio iniciou-se com a redução e, em muitos países, incluindo o Brasil, proibição do uso dos CFCs. Apesar da redução de sua emissão, os CFCs continuam atuando na camada de ozônio pois persistem na atmosfera por 20 a 100 anos. Assim, um átomo de cloro componente de uma molécula de CFC pode destruir moléculas de ozônio por um longo tempo antes de ser eliminado. Os CFCs foram substituídos pelos hidroclorofluorcarbonos (HCFCs) que têm potencial 59% menor de destruição da camada de ozônio que os CFCs, mas alto potencial de efeito estufa. Por este motivo, como dito anteriormente, há um plano mundial para sua abolição até 2040. Os hidrofluorcarbonos (HFCs), por sua vez, por não conter cloro não afetam a camada de ozônio. No entanto, são bastante persistentes no ambiente e também têm alto potencial de efeito estufa, de modo que têm contribuído fortemente para o aquecimento global nas últimas décadas. Assim, é necessária a continuidade da busca por substitutos para estas três categorias de gases. A retomada do uso de fluidos naturais como o dióxido de carbono, a amônia e alguns tipos de hidrocarbonetos é um caminho que vem sendo avaliado. No que diz respeito ao óxido nitroso, as ações praticadas no sentido de amenizar o aquecimento global terão efeito positivo também no enfrentamento da redução da camada de ozônio.

A redução da desertificação está relacionada à utilização de melhores práticas para agricultura e pecuária, à diminuição das taxas de desmatamento e ao controle do aquecimento global, visto que o aumento de temperatura resulta em maior evaporação da água do solo, ainda mais se não houver a proteção dada pela presença de vegetação. Neste sentido, o controle do uso e ocupação do solo é fundamental para impedir a expansão da desertificação.

O controle do uso e ocupação do solo também é importante para evitar maiores impactos aos ambientes aquáticos, uma vez que desmatamento pode resultar em erosão do solo e carreamento de material particulado para o seu interior. O depósito de material particulado pode causar assoreamento nos ambientes aquáticos, resultando em modificação dos habitats originais que, por sua vez, pode levar à redução da abundância de indivíduos de espécies sensíveis a tal alteração. O maior controle do uso de fertilizantes e pesticidas na agricultura tem potencial de minimizar os efeitos negativos sobre ambientes aquáticos superficiais, bem como diminuir seu transporte para águas subterrâneas. Salienta-se que a descontaminação dos depósitos subterrâneos de água não é um processo trivial e que muitos deles são fundamentais para o abastecimento de populações humanas.

Finalmente, a redução dos impactos ambientais depende também de mudanças nos hábitos de consumo dos seres humanos. Se continuarmos a aumentar indefinidamente o consumo de bens altamente dependentes de tecnologia para sua produção, cada vez mais energia e recursos serão necessários para suprir nossa demanda e, portanto, mais intensos e variados serão nossos impactos e seus efeitos sobre a biosfera.

Bibliografia básica

- CHEVREUIL, M.; GRANIER, L. Les PCB: des polluants difficiles à éliminer. *La Recherche*, 23: 484-486. 1992.
- GOLDEMBERG, J. Energia, meio ambiente e desenvolvimento. São Paulo: Edusp, 235p., 1998.
- KORMONDY, E.J.; BROWN, D.E. Ecologia humana. São Paulo: Atheneu, 503p., 2002.