



<http://climacom.mudancasclimaticas.net.br/rodrigo-autran-florestas/>

## Uma máquina do tempo para frear a savanização da floresta amazônica

Rodrigo Ramírez Autrán<sup>i</sup>

“... é a guerra de mil anos contra o desconhecido (...)  
A definição dos últimos aspectos da Amazônia será o  
fecho de toda a História Natural (...)  
Realmente a Amazônia é a última página  
a escrever-se do Génesis”  
(Euclides Da Cunha, *Inferno Verde*, 1927)

**RESUMO:** No interior da floresta amazônica brasileira tem sido desenvolvido AmazonFACE, uma experiência científica com a finalidade de analisar os possíveis impactos das concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera e as mudanças climáticas correspondentes. Tal experiência científica tem, entre outras metodologias e tecnologias, aparelhos que já foram denominados de “máquinas/cápsulas do tempo”, que podem ajudar os cientistas nas pesquisas focadas nos efeitos ao nível biológico da floresta, causadas pelas concentrações de CO<sub>2</sub> antropogênicas. O presente trabalho procura fazer uma descrição das condições históricas e tecnocientíficas nas quais um grupo de cientistas procuram responder uma das muitas hipóteses científicas focadas nas mudanças climáticas na floresta amazônica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Amazônia. Savanização da floresta. AmazonFACE. Mudanças Climáticas.

---

### A time machine to brake the savanization of the amazon forest

**ABSTRACT:** In the interior of the Brazilian Amazon rainforest, a scientific experiment has been developed in order to analyze the possible impacts of CO<sub>2</sub> concentrations in the atmosphere and the corresponding climate changes. This scientific experience has, among other methodologies and technologies, devices that have already been called “time machines/capsules”, which can help scientists in research focused on the effects at the biological level of the forest, caused by anthropogenic CO<sub>2</sub> concentrations. The present work seeks to describe the historical and technoscientific conditions in which a group of scientists seek to answer one of the many scientific hypotheses focused on climate change in the Amazon rainforest.

**KEYWORDS:** Amazon rainforest. Savanization. AmazonFACE. Climate Change.

---

### 1. A floresta tropical da Amazônia na América do Sul

A Amazônia é um microcosmo e é também um dos ecossistemas mais importantes do mundo, com um papel vital para a biodiversidade mundial e para o ciclo global do



carbono (Senna *et. al.*, 2014). Não há uma única Amazônia: suas características são tão variadas que é possível observar suas diferenças no nível entre países, entre ecossistemas ou mesmo de uma área para outra. Amazônia (português brasileiro) ou Amazónia (português europeu) (também chamada de Floresta Amazônica, Selva Amazônica, Floresta Equatorial da Amazônia, Floresta Pluvial ou Hileia Amazônica) é uma floresta latifoliada úmida que cobre a maior parte da Bacia Amazônica da América do Sul. Esta bacia abrange 7 milhões de quilômetros quadrados, dos quais 5 milhões e meio de quilômetros quadrados são cobertos pela floresta tropical (Fearnside, 2009).

A região Amazônica é um dos lugares-chave das mudanças globais, recursos hídricos e preservação da biodiversidade. Ao mesmo tempo, é a última fronteira de expansão econômica territorial do Brasil e é também uma figura primordial na configuração de uma globalização ambiental (Fearnside, 2009). A Amazônia brasileira, uma floresta do tamanho da Europa Ocidental, possui uma variedade de tipos de vegetação, interações biológicas e processos geoquímicos com significado global para a biodiversidade e o clima. No entanto, apesar disso, a floresta sofre com o desmatamento que avança rapidamente. Devido a importância da floresta, torna-se necessário que haja urgência especial ao entendimento dos processos biológicos e sociais nessa região e à aplicação desse entendimento (Fearnside, 2010). De fato, o valor social e natural da floresta para o mundo, pode ser percebido a partir de distintas narrativas, nas quais floresta amazônica tem sido denominada já nos anos 80 como “o pulmão da humanidade”<sup>ii</sup>, e como “patrimônio da humanidade” (Santos-Filho, 1999; Almeida, *et al.* 2005).

Se sabe que a região amazônica é responsável por inúmeros serviços ambientais, entre os quais: o habitat de cerca de 10 a 15% da biodiversidade da terra regulação climática e a produção de água doce, que corresponde a cerca de 15% a 20% de toda a água doce lançada nos oceanos anualmente (Sampaio *et al.*, 2019). Dentre a ampla variedade de elementos indispensáveis na regulação climática global que a floresta Amazônica apresenta, dois elementos serão de nosso interesse: as concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera e a precipitação pluvial e a relação de ambas com a temperatura:

Do ponto de vista da regulação climática, a Amazônia opera em várias escalas. Em escala global, é responsável pelo armazenamento de cerca de 150-200 Pg de carbono na biomassa e nos solos vivos, que de outra forma poderiam ser lançados na atmosfera com fortes impactos no clima global. Nas escalas local e regional, a floresta amazônica exerce controle de precipitação e temperatura por



evapotranspiração (ET), em um processo conhecido como "reciclagem de umidade" (Sampaio *et al.*, 2018, p. 199 tradução própria).

Porém, é esperado pelos especialistas, como climatologistas, biólogos e ecólogos que têm estudado a região por décadas, que a mudança climática tenha impactos significativos na floresta restante na Amazônia (Fearnside, 2003, 2010). Ditas mudanças, para além dos graves impactos na saúde humana, taxas de aquecimento mais elevadas podem aumentar o risco de desastres extremos ou mesmo catastróficos, como a potencial extinção de espécies; a redução da disponibilidade de água e de energia hidroelétrica; e a instabilidade da produção de alimentos, que poderá limitar a área de cultivo disponível para grandes culturas agrícolas no Brasil e, com isso, afetar o papel do país enquanto fornecedor fundamental da segurança alimentar mundial (Nobre, Marengo & Soares, 2019).

## **2. Floresta amazônica e as mudanças climáticas globais**

Neste contexto de complexidade, espera-se que a recente mudança climática global tenha enormes efeitos sobre as florestas amazônicas (Fearnside, 2003, 2009, 2010). Estes incluem o aumento de temperatura causado pelo efeito estufa; o aumento da concentração de gás carbônico; as mudanças no regime de chuvas causada tanto pelo efeito estufa como pela redução da evapotranspiração; transporte extra regional de fumaça e poeira; e o aumento da nebulosidade em algumas partes da região.

Com isso, pode-se argumentar que os eventos extremos são mais importantes do que as mudanças nas médias de parâmetros como a precipitação e temperatura. É provável que a mudança climática tenha seus maiores impactos nas florestas amazônicas por meio das suas interações com a variabilidade natural de clima, exploração madeireira, fragmentação e incêndios.

Tem sido dito que o cenário atual deve abordar desafios ambientais globais no próximo século. Lahsen e Nobre (2007), por exemplo, apontam que se exigirá novas formas de cooperação diplomática internacional, novas formas de estimular a inovação e a inclusão de novos participantes a todos os níveis nas tomadas de decisões. Haverá a necessidade de promover mais pesquisas interdisciplinares, e também que os cientistas sejam dedicados à objetividade e sensíveis às implicações éticas de suas descobertas Malhado *et al.* (2014). Dadas as incertezas em ambos os riscos e custos, só podemos esperar que



os políticos e os cientistas possam ter um planejamento de longo prazo com base em desenvolvimentos científicos, tecnológicos e econômicos.

Segundo Malhado *et al.* (2014), a floresta amazônica é um microcosmo fundamental no debate sobre o papel, influência e obrigações de pesquisadores estrangeiros nos estudos com enfoque nos trópicos. A relevância global da Amazônia está principalmente relacionada com o fato de que:

A Amazônia funciona como um regulador do clima à escala regional e até mesmo global. É a maior floresta tropical do planeta e é distribuída por oito países. (...) contém o maior reservatório de biodiversidade do planeta, também é a bacia com a maior contribuição de água doce em todo o mundo (Lapola; Norby, 2009, p. 6, tradução própria).

Recentemente pesquisadores encontraram evidências de que a ciência amazônica está cada vez mais globalizada num processo de internacionalização observando que é cada vez mais frequente a contribuição de instituições de diferentes países para a geração de conhecimento científico sobre a Amazônia (Malhado *et al.*, 2014). Devido a esta internacionalização, é possível encontrar atualmente posições sobre a relevância natural e sociopolítica da floresta no nível regional:

... a narrativa da Amazônia, como um elemento crucial do clima global, tornou-se um elemento central de como a região é entendida tanto dentro como fora da ciência, levando os governos da região a adotarem marcos legais sobre mudanças climáticas e formas para abordar o desmatamento (Monteiro; Da Cal Seixas & Vieira, 2014, p. 689, tradução própria).

Nos conflitos em torno do desmatamento, historicamente eles envolveram “cientistas, grupos ambientais e instituições políticas [que] moldaram um conjunto complexo de regulamentos, tecnologias e discursos que conseguiram, em certa medida, diminuir o ritmo da destruição da floresta” (Monteiro; Da Cal Seixas & Vieira, 2014, p. 690, tradução própria). Por exemplo, a relação entre o desmatamento e o aquecimento global tem sido vista entre vários cientistas nacionais e internacionais, como uma consequência das próprias mudanças climáticas. Também é um fato que grandes áreas da floresta amazônica foram desmatadas nas últimas décadas, com um papel cada vez maior desempenhado pela plantação de soja, por exemplo.

A noção de desmatamento como afetação da floresta tem sido amplamente analisado a partir de diferentes perspectivas, mas diversas, nas quais existem múltiplas explicações



e concepções que começam a partir da ideia de que as causas e respostas fornecidas expressam compreensões profundas do que é humano, não humano, social e natural (Hansen *et. al.*, 1981; Andrews *et. al.*, 2010; Ambaum, 2010; Houghton, 2009; e Christopherson, 2012). Cada grupo social (políticos, científicos, empresários, ativistas) têm seus próprios modos de conhecer, interpretar, perceber e representar os fenômenos derivados das recentes mudanças ambientais e climáticas. Do lado dos cientistas, temos a opinião de um dos principais especialistas no que se refere ao sistema socioecológico do Amazonas brasileiro:

O desmatamento é a atividade humana que afeta diretamente as maiores áreas na parte florestada da Amazônia brasileira. Dados do satélite LANDSAT, interpretados no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), indicam que a área desflorestada até o ano 2000 totalizou 3, 232 583,3 X 10 km, incluindo aproximadamente 100X10 km de desmatamento “antigo” (pré 1970) no Pará e Maranhão. A área desmatada é maior que a França. Já que a área originalmente florestada na Amazônia brasileira era do tamanho da Europa Ocidental, a “França” já desmatada dentro dessa “Europa” ilustra a sua dimensão relativa (Fearnside, 2003, p. 116, grifo nosso).

O desmatamento tropical mundial libera quase 30% da emissão antropogênica líquida total de gases do efeito estufa; embora nenhum plano para controlar o efeito estufa possa ter êxito sem alcançar uma redução dos outros 70% das emissões globais, especialmente as das queimadas dos combustíveis fósseis, também é verdade que a contribuição do desmatamento tropical é significativa e não deveria ser omitida dos planos de mitigação, e o uso da terra e mudança do uso da terra na Amazônia brasileira no período 1981-1990 contribuiu com 6,6% do total mundial de emissão líquida comprometida de gases causadores do efeito estufa, incluindo combustíveis fósseis e mudanças do uso da terra (Fearnside, 2003).

Sobre o papel dos impactos do desmatamento na floresta, no ano de 1978 foi inaugurado o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a noção de *Infinite forest* (a floresta infinita), era questionada fortemente pelos seus cientistas, muitos deles que estavam observando um padrão de comportamento anômalo na floresta amazônica.

Atualmente o Brasil obteve enorme atenção internacional devido às fortes queimadas que atingiram a floresta. Nesse cenário se configurou uma controvérsia entre os chefes de estados (o caso do presidente da França e seu homônimo brasileiro), junto com a mídia internacional e especialistas científicos (o caso do ex-diretor do INPE que foi



demitido). O mês agosto de 2019 ficou registrado como o mês com maior número de focos de queimadas no estado do Amazonas desde o início dos registros realizados do governo federal, em 1998. Foram 6.145 focos verificados pelo INPE. O recorde anterior era também um outro mês de agosto, mas o de 2005, quando foram detectados 5.981 focos ativos<sup>iii</sup>. Além dos alarmantes dados das queimadas, a área com alerta de desmatamento na Amazônia subiu 85% entre os anos de 2018 e 2019. Esses dados são do sistema Deter-B, desenvolvido pelo INPE, que serve para orientar fiscalizações em campo, e a área com alertas totalizou 9.165,6 km<sup>2</sup> no ano passado, ante 4.946,37 km<sup>2</sup> em 2018<sup>iv</sup>.

Historicamente, sabe-se que entre nos anos 1960 e 1970, quando se inicia a colonização maciça da região, também de um processo de forte interação entre ciência, ativismo e política, entra em destaque a compreensão de que o desmatamento é um problema central. No tema das políticas atuais da mudança climática, uma das justificativas mais significativas para meu projeto de pesquisa é a persistente relevância da floresta amazônica, não somente como área biológica fundamental do planeta, mas também como espaço de análise científica.

No entanto, tão importante quanto as interpretações e concepções, é como esses grupos sociais atuam e reagem frente aos cenários complexos e em mudanças, por exemplo, nas recentes variações climáticas globais. Sob o entendimento de que há diferentes visões (sociais) do mundo e formas tão diferentes de responder ao mesmo problema. Com a heterogeneidade de posturas e ideias em relação à controvérsia:

A interação entre percepções científicas de desmatamento, ativismo e política é, portanto, uma característica de como o desmatamento emergiu como um problema para a ciência e para as instituições envolvidas na gestão desenvolvimento e meio ambiente. Essa interligação também é importante para a dinâmica do desmatamento ciência e política na década de 2000, quando a ciência das mudanças climáticas emerge como um corpo mais relevante de trabalho (Monteiro; Da Cal Seixas & Vieira, 2014, p. 691, tradução própria).

Contudo, é possível afirmar que as mudanças climáticas, especialmente as relacionadas a temperatura anual média e seca, são fatores importantes para o desmatamento da floresta. À medida que mais carbono é liberado de árvores mortas, especialmente nas florestas amazônica e boreal, mais gases de efeito estufa são liberados para a atmosfera, e o aumento dos níveis de gases de efeito estufa aumenta a temperatura da atmosfera.



A ciência recente construiu a ideia da Amazônia como um sistema complexo de interações e mecanismos de *feedback*, que exige pesquisa multidisciplinar (Monteiro; Da Cal Seixas & Vieira, 2014). Então, aquele *loop* de *feedback* é reforçado e as adaptações biológicas das espécies determinam sua sobrevivência. Nesse cenário, as projeções para uma floresta moribunda variam, mas a ameaça das mudanças climáticas globais apenas aumenta a taxa de mortalidade. Os cientistas não conhecem os pontos de queda exatos das mudanças climáticas e só podem estimar os prazos. Quando um ponto de inflexão - o limite crítico - é alcançado, uma pequena mudança na atividade humana pode ter consequências a longo prazo sobre o meio ambiente.

Dois dos nove pontos de inflexão para grandes mudanças climáticas previstas para o próximo século estão diretamente relacionados ao desmatamento das florestas, porém, considera-se fundamentais as perspectivas as quais ponderam as pesquisas desenvolvidas na floresta amazônica, olhando a ampla variedade de fenômenos ambientais, mas também, aqueles de tipo socioculturais e político-econômicos que estão detrás da floresta tropical (Couto-Santos, Luizão, Carneiro Filho, 2014).

Ferreira e Costa (2013) afirmaram que o desmatamento na Amazônia do Brasil central poderia mudar o clima regional, possivelmente deslocando o equilíbrio da floresta em um envelope bioclimático típico das savanas “embora os impactos das mudanças climáticas induzidas pelo desmatamento provavelmente variem sub-regionalmente, a variação geográfica potencial desses efeitos e os limiares da floresta tropical que afetarão o equilíbrio bioclimático da Amazônia permanecerão desconhecidos” (Ferreira & Costa, 2013, p. 3620, tradução própria).

Os resultados das validações da pesquisa indicam que a precipitação sub-regional responde de três maneiras distintas para o desmatamento progressivo: uma taxa de redução quase constante, uma queda rápida para baixos níveis de desmatamento e uma diminuição após níveis de desmatamento intermediários, mas, “enquanto as regiões florestais internas permanecem dentro do envelope bioclimático da floresta tropical, as regiões florestais externas podem atravessar o limiar bioclimático da savana florestal mesmo com baixos níveis de desmatamento” (Ferreira & Costa, 2013, p. 3620, tradução própria), e nesse sentido, na realidade brasileira:



Já o Brasil, no século XXI, comprometeu-se a atender às expectativas que cercaram o encontro na França. As suas metas estão entre as mais ambiciosas. Visam reduzir em 38% as emissões de GEE até 2025. Outro objetivo será recuperar 12 milhões de hectares de florestas (metade da área do estado de São Paulo) e zerar o desmatamento ilegal até 2030. É de justiça registrar que o Brasil vem demonstrando desde meados da década passada um empenho ambiental que poderá garantir que seus compromissos assumidos na cúpula de Paris serão cumpridos. Combinando eficientemente repressão, monitoramento e prevenção, o governo adotou medidas transversais, mobilizando vários ministérios (Lahsen, Marcovitch & Haddad, 2017, p. 284).

Desta forma, além dos dados empíricos que dão suporte aos modelos climáticos ainda são escassos para a Amazônia (Couto-Santos, Luizão, Carneiro Filho, 2014), os modelos que acoplam carbono/clima prenunciam mudanças nos ciclos do carbono e da água em um futuro próximo, substituindo gradualmente florestas tropicais por savanas e “diante deste cenário, investigamos se o status de conservação e as variações de precipitação influenciaram as mudanças ocorridas em 20 anos nos mosaicos floresta-savana, em uma área de transição ao norte da Amazônia” (Couto-Santos, Luizão, Carneiro Filho, 2014, p. 35). Segundo estes mesmos autores, utilizando imagens, a partir da modelagem climática, a pesquisa pode confirmar uma tendência de aumento da frequência de eventos climáticos de seca prevista pelos modelos climáticos para essa região, a extensão e direção de mudanças futuras dos limites florestais serão afetadas, comprometendo os serviços ecológicos como a estocagem de carbono e a manutenção da biodiversidade local.

### **3. A hipótese científica da savanização da floresta**

As mudanças na temperatura anual média e na seca são fatores importantes para o desmatamento das florestas no mundo. À medida que mais carbono é liberado de árvores mortas, especialmente nas florestas amazônica e boreal, mais gases de efeito estufa são liberados para a atmosfera, nesse cenário as projeções para uma floresta moribunda, são variadas, mas a ameaça das mudanças climáticas globais apenas aumenta a taxa de mortalidade.

Como foi apontado, os cientistas não conhecem os pontos de queda exatos das mudanças climáticas e só estimativas dos prazos podem ser feitas com ajuda das modelagens climáticas (Nobre, *et al.* 2016), naquelas estimativas quando um ponto de inflexão, ou limite crítico, é alcançado, uma pequena mudança na atividade humana pode ter



consequências a longo prazo sobre o meio ambiente. Nesse sentido, a pesquisa busca destacar e apresentar diferentes posições científicas, desde a meteorologia, as ciências ambientais, até disciplinas como a economia, e observar como todas elas estão entendendo essa hipótese controversa.

Então, "para determinar as ações específicas a nível global, regional ou local, é preciso primeiro entender o problema das alterações climáticas, principalmente através da análise do alcance e limites do conhecimento científico que temos até agora" (Martínez e Fernández, 2008, p. 18, tradução própria). Pode-se dizer, então, que o aquecimento prolongado, assim como as quantidades crescentes de CO<sub>2</sub> produzidas pelo homem, são um dos problemas globais mais importantes da agenda internacional no debate ambiental.

Debates científicos atuais<sup>v</sup> têm determinado se a Amazônia vai ou não virar savana por conta das mudanças climáticas, inclusive que os debates têm ganhado novos contornos, às vezes mais ou menos pessimistas do futuro. Pouco mais de uma década atrás, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007), no Quarto Relatório, já havia previsto sobre o processo de savanização como uma hipótese científica. Acreditava-se que a seca e as temperaturas elevadas associadas ao desmatamento levariam a Amazônia a perder biomassa, tornando-se menor e mais semelhante ao cerrado brasileiro.

De fato, a ação humana, a redução de chuvas, junto com outras alterações no clima podem transformar floresta amazônica em savana (Nobre, Sellers E Shukla, 1991; Wang, *et. al.*, 2017; Zemp, *et. al.*, 2017; Cândido, *et. al.*, 2007; Salazar, 2009; Couto-Santos, Luizão, Carneiro Filho, 2014; Monteiro, Da Cal Seixas e Vieira, 2014; Senna *Et. al.*, 2014; Nobre, *et. al.*, 2016; Fearnside, 2009; Keller, *et. al.*, 2009; Cuéllar, *et. al.*, 2015). A hipótese científica da savanização da floresta, no entanto, é um conceito heterogêneo, o qual, às vezes, pode apresentar sinônimos e outros conceitos complementares em diversas disciplinas: *Amazon Savannization*, *Dieback hypothesis*, *Savannah-like*, e Bioma Cerrado.

O trabalho pioneiro, no qual a possibilidade de um processo de savanização é destacado pela primeira vez, é o de Nobre, Sellers e Shukla (1991): *Amazon Deforestation and*



*Regional Climate Change*. Neste trabalho, considera-se um processo de degradação e consequentemente de mudança na floresta tropical amazônica. Também é proposta a hipótese de conversão da floresta tropical em pastagens ou em outros tipos de vegetação curta está ocorrendo a taxas cada vez maiores na Amazônia, bem como em outras florestas tropicais do mundo: “é quase certo que essa conversão causará alterações no microclima das áreas perturbadas. Se o tamanho da área perturbada for suficientemente grande, mesmo o clima regional pode ser alterado” (Nobre, Sellers & Shukla, 1991, pp. 983, tradução própria). Os resultados do trabalho desses autores sugerem que uma destruição completa e rápida da floresta tropical da Amazônia pode ser efetivamente irreversível na parte sul da Amazônia:

Uma versão da teoria da savana foi delineada na década de 1990 pelo meteorologista Carlos Nobre e colaboradores com base em um modelo numérico combinado atmosfera-biosfera. O papel da floresta na circulação da umidade foi fundamental para o seu argumento e ajudou a esclarecer como os climas regionais são afetados pelas práticas de uso da terra. No passado, pensava-se que a chuva não estava ligada à vegetação subjacente (Monteiro, Da Cal SEIXAS & Viera, 2014, p. 693, tradução própria).

Desse modo, o trabalho de Nobre cria um precedente e propõe um esquema bioclimático que define a posição do limite floresta-cerrado ao sul e norte da Amazônia, junto com uma redução significativa da precipitação na floresta amazônica, que tem repercussões diretas nos ciclos e fluxos de crescimento e desmatamento da floresta. Então, dita hipótese começa a prever uma substituição provável de florestas por vegetação tipo savana através de fenômenos complexos e inter-relacionados, incluindo o desmatamento, as mudanças climáticas e o balanço hídrico da floresta, reforçados pelos dados produzidos por modelos climáticos:

... as teorias de *Savannization* ajudaram a moldar a importância do desmatamento como parte de processos maiores de mudanças climáticas globais, como o desmatamento começou a ser percebido como parte de fenômenos complexos e de grande escala, que funcionam sinergicamente para influenciar os padrões climáticos globais (Monteiro, Da Cal Seixas & Vieira, 2014, p. 693).

Ainda que no aquele trabalho do 1991, os meteorologistas não falassem sobre o termo específico de savanização, eles apontavam que estava em curso uma conversão da floresta tropical “em pastagens ou outros tipos de vegetação curta” a taxas cada vez maiores na Amazônia, bem como em outras florestas tropicais do mundo (Nobre, Sellers & Shukla, 1991, p. 983, tradução própria). É certo que essa conversão causa alterações



no microclima das áreas perturbadas. Se o tamanho da área perturbada for suficientemente grande, mesmo o clima regional pode ser alterado. Quase duas décadas depois, algumas climatologistas ainda apontam que mudanças na temperatura anual média e na seca são fatores importantes para o desmoronamento da floresta (Allen, 2009).

O loop de *feedback* biótico é reforçado e as adaptações biológicas das espécies determinam sua sobrevivência, porém as projeções de uma floresta moribunda variam, mas a ameaça das mudanças climáticas globais apenas aumenta a taxa de mortalidade. Dita mortalidade é conhecida como *Forest dieback* ou floresta moribunda (também "*Waldsterben*", uma palavra de empréstimo alemão). É uma condição em árvores ou plantas lenhosas em que as partes periféricas são mortas, seja por agentes patogênicos, parasitas ou devido a condições como chuva ácida e seca. Dois dos nove pontos de inflexão para grandes mudanças climáticas, previstas para o próximo século, estão diretamente relacionados aos desmoronamentos das florestas (Fearnside, 2010).

No artigo *Modeling the impact of net primary production dynamics on post-disturbance Amazon savannization* (Senna *et. al.*, 2014) do *National Center for Atmospheric Research* (NCAR), um grupo de climatologistas descobriram que as florestas tropicais amazônicas estão sendo substituídas por pastagens e terras cultivadas, mas, às vezes, este processo é revertido e a floresta renasce quando é abandonada após um período de uso agrícola. A pesquisa sugere que este renascimento secundário é limitado pelo clima e disponibilidade de nutrientes. Além disso, utilizando uma atmosfera de biosfera acoplada modelo, os autores investigaram os padrões no repouso da floresta amazônica após um evento de desmatamento completo, considerando diferentes tipos de estresse nutricional.

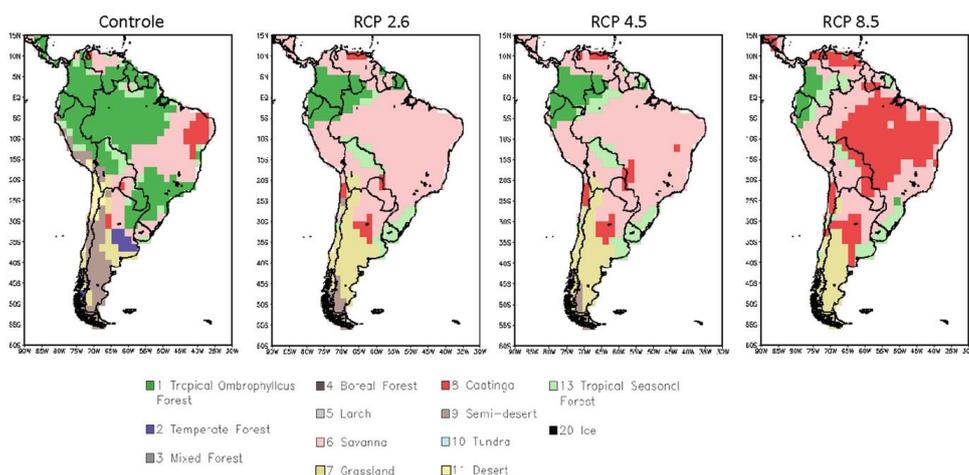


Fig.

01 Distribuição atual e futura dos biomas de equilíbrio na América do Sul. Fonte: Sampaio *et al.*, 2019

A imagem anterior é o resultado do Modelo de Vegetação Potencial do CPTEC versão 2 (Lapola *et al.*, 2009), e foi utilizado para estudar as possíveis alterações dos biomas sul-americanos em resposta aos cenários projetados de mudança climática das para o final deste século, em que os dados de entrada correspondem à climatologia mensal para 2070-2100, e mostrando as variedades de afetações e mudanças nos ecossistemas:

... o modelo considera a sazonalidade na precipitação como um determinante para a delimitação de florestas e savanas, e é capaz de explicar a variação da concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> na produtividade primária das plantas.... nestes cálculos, o efeito da fertilização com CO<sub>2</sub> foi levado em consideração em 25%. Eles projetam extensas mudanças na distribuição de biomas na Amazônia. Fundamentalmente, é expansão esperada de savana tropical e caatinga - áreas secas - sobre áreas atualmente ocupado por florestas tropicais (Sampaio *et al.*, 2019, p. 208).

Com cada vez mais secas, qual é o futuro para a Floresta Amazônica? Segundo os resultados da pesquisa de (Sampaio *et al.*, 2019) as secas recorrentes em períodos curtos de tempo afetam a recuperação do ecossistema, o que aumenta o risco de queimadas e mortalidade das árvores. Em particular, como mostrou-se o desmatamento tem sido a afetação que até o momento agrava os períodos de seca, porque a perda da cobertura vegetal reduz a transferência de água para a atmosfera, a chamada evapotranspiração, evaporação do solo somada à transpiração das plantas, resultando em menos chuvas (Wang *et al.*, 2017).

As secas de 2005 e 2010 resultaram em recordes de queimadas e emissões de carbono, então, um fator importante a observar é o nomeado “ponto de inflexão” da floresta



(Wang *et. al.*, 2017, p. 270, tradução própria). Pesquisas feitas pela equipe de Wang mostram que uma vez que o desmatamento ultrapassa um limite, ele pode sustentar uma forte dinâmica entre vegetação e clima que pode levar a seca e morte da floresta tropical em um período relativamente curto.

Sobre o próprio ponto de inflexão (Blaustein, 2011), acredita-se que os cientistas não conhecem os pontos de queda exatos das mudanças climáticas e só podem estimar os prazos. Quando um ponto de inflexão - o limite crítico - é alcançado, uma pequena mudança na atividade humana pode ter consequências a longo prazo sobre o meio ambiente.

Num dos trabalhos recentes do Nobre (2016) publicado na revista *Proceedings of the National Academy of Sciences* (PNAS), os pesquisadores alertam que grande parte da floresta pode dar lugar a uma savana degradada sob diversos cenários. São projeções que já haviam sido feitas e publicadas, mas pela primeira vez aparecem juntas. E indicam a vulnerabilidade da Amazônia às mudanças globais que ocorrem atualmente, como alterações na paisagem e mudanças climáticas.

Mesmo controlando o desmatamento, afirma Nobre, se a temperatura média na região aumentar 4° Celsius, a floresta pode não suportar considerando “vários estudos conduzidos pelo meu grupo de pesquisa e por outros, internacionalmente, chegaram a limites absolutos, que se você ultrapassar corre o risco do que chamei de savanização da Amazônia” (Nobre *et. al.*, 2016, p. 10760, tradução própria). Apesar de ainda estar longe dessa marca, já que a temperatura na região aumentou 1°C (1,5°C em áreas desmatadas, segundo o pesquisador), existem outras ameaças. Se o desmatamento passar dos 40% da floresta, há risco de uma mudança regional que leve a mudança da paisagem. Incêndios florestais também podem levar a degradação da floresta tropical.

Como elemento adicional da controvérsia, o próprio Nobre destaca que o estudo também levou em consideração o ganho da floresta com o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, que favorece o crescimento das árvores. Sem esse dado, os resultados seriam ainda piores. Segundo o estudo de Nobre *et. al.* (2016), a Amazônia chegou a esse estado por um conflito entre os dois modelos de políticas para a conservação da região. O primeiro é isolar áreas de florestas com a criação de áreas protegidas onde não são



permitidas atividades econômicas. O segundo modelo é a intensificação da agricultura nas áreas já desmatadas, para que as atividades econômicas não avancem sobre a floresta. Esses modelos não estão dando conta do problema.

Infelizmente, as posições oficiais do Brasil nesta área têm sido historicamente de negar o problema (Fearnside, 2009), tanto das mudanças climáticas, quanto as afetações mais particulares como o aquecimento global ou a savanização da floresta. Quando o IPCC divulgou seu relatório sobre os impactos em abril de 2007, a *Folha de S. Paulo* informou que "o 5 de abril de 2007 a *Folha de S. Paulo* encontrou que a delegação brasileira ao encontro do IPCC em Bruxelas objetivou o texto final do resumo que menciona a savana da Amazônia causada pelo aquecimento global"<sup>vi</sup>.

No entanto, não menos de quatro capítulos do relatório do IPCC destaca o perigo de uma savanização na Amazônia e o resumo para os tomadores de decisão políticos foi aprovado com a afirmação de que "até meados do século, os aumentos de temperatura e as diminuições associadas na água do solo deverão levar a uma gradual substituição da floresta tropical por savana no leste da Amazônia" (IPCC, 2007). Sobre aquela reunião em Bruxelas, o próprio Fearnside, grande especialista na realidade amazônica falou na década passada:

A posição da delegação brasileira é sintomática. Assim como o presidente dos Estados Unidos, George W. Bush, negou a própria existência do aquecimento global, libertando-se de qualquer ônus para fazer algo sobre o problema, os esforços da delegação brasileira para evitar o reconhecimento oficial do perigo de savanização na Amazônia têm o efeito de prevenir que o governo brasileiro enfrente o problema, incluindo o desmatamento e a redução das emissões de gases de efeito estufa (Fearnside, 2009, p.1005, tradução própria).

A floresta já é vulnerável, especialmente nas áreas de secagem perto das bordas leste e sul da floresta (Salazar *et al.*, 2007), e qualquer mudança adicional na direção esperada do aquecimento global aumenta o risco de savanização; devido aos atrasos no sistema climático, o aquecimento continuaria por 20 a 30 anos, mesmo que as emissões antropogênicas fossem parar imediatamente (Fearnside, 2009). Após esse período, no entanto:

... a diferença nas temperaturas globais simuladas é muito grande dependendo do que as emissões do curso assumem nos próximos anos (por exemplo, IPCC). O curso das futuras emissões depende das negociações internacionais em andamento para definir a perigosa interferência no sistema climático global (Fearnside, 2009, p.1007, tradução própria).



A ideia do aquecimento global antropogênico (teoria do dióxido de carbono das mudanças climáticas) com suas respectivas implicações não é algo que surgiu há pouco tempo, é uma teoria que vem recebendo atenção crescente de um número cada vez maior de cientistas desde a década de 1950. Assim, se a grande comunidade de especialistas está envolvida com a questão, há boas razões para considerar que se trata de algo sério.

Modelos e cenários futuros são incertos, as metodologias são diversas, em momentos complementares, mas às vezes divergentes e pouco abrangentes. Tratar da questão climática é tratar da questão do risco. Cientistas não podem nos fornecer uma certeza sobre o que vai acontecer com o clima, mas os melhores modelos climáticos dão indicativos de que há um risco real de que a continuidade das emissões humanas terá sérias consequências para o equilíbrio climático. O tema do aquecimento global não é um tema para ser simplesmente negado, é um tema que requer que todos nós nos informemos a respeito, o risco existe, e precisamos saber o que está acontecendo:

Um quadro que torna insuficientes tanto a perspectiva de transformar a Amazônia em um santuário intocado quanto aproveitamento das áreas desmatadas para a agricultura. A nossa conclusão é que nenhuma dessas estratégias *preserva ad eternum* a Amazônia (Nobre *et al.*, 2016, p. 1076, tradução própria).

A Amazônia, neste cenário, está experimentando mudanças previstas pelos modelos climáticos. A modelagem climática fornece informações estratégicas de conservação e não deve ser mais ignorada pelos tomadores de decisão e conservacionistas. Previna possíveis danos, possibilita ações cautelares e fornece uma base racional para a alocação ótima de recursos financeiros, físicos e humanos.

Não é um estudo científico trivial descobrir em que ponto o estado atual poderia mudar (possivelmente abruptamente) a vegetação do tipo savana, dada a combinação forçada de desmatamento, fragmentação florestal, aumento da floresta aquecimento global, com uma provável consequência de secas mais intensas, como as secas severas observadas em 2005 e 2010 (Sampaio *et al.*, 2018).

Contudo, alguns dos impactos das mudanças climáticas sob a possibilidade de uma temperatura de 4°C (IPCC, 2012, 2014, 2015; Nobre *et al.*, 2016; Sampaio *et al.*, 2019) ou mais aumento do aquecimento global, e outros fatores, podem acelerar a savanização



da Amazônia e se “o atual ritmo de mudança for mantido inalterado, pode apenas descobrir que o equilíbrio clima-vegetação foi alcançado depois de termos ultrapassado o limiar para o seu estabelecimento” (Sampaio *et al.*, 2019, p. 203, tradução própria), ou seja que, em termos de futura distribuição de biomas na Amazônia:

... a combinação sinérgica dos impactos devido à cobertura da terra e às mudanças climáticas aponta para a savanização de porções de suas florestas tropicais. É necessária uma redução do desmatamento para quase zero nas florestas tropicais, redução das emissões de cobertura da terra e mitigação das mudanças climáticas, para evitar uma interferência perigosa na capacidade dos ecossistemas naturais de se adaptarem essas possíveis mudanças (Sampaio *et al.* 2019, p. 213).

Ainda a ciência internacional, mais especificamente a ciência brasileira, tem um enorme caminho por percorrer no que diz respeito a essa hipótese da savanização floresta, suas implicações no nível biológico, e também, no nível social. O tratamento da hipótese tem sido variado por cada grupo de cientistas e abordagem. É de particular interesse entender a forma como um programa de pesquisa climático brasileiro, denominado **AmazonFACE** tem se engajado nesses debates e compreender as práticas científicas ao redor das mudanças climáticas observadas num laboratório em Manaus.

#### 4. O programa AmazonFACE e suas “máquinas do tempo”

O AmazonFACE (*Free-Air Carbon Enhancement Experiment on the Amazon*)<sup>vii</sup> é um programa de pesquisa brasileiro, com financiamento e parceiros internacionais. A proposta principal do programa é o desenvolvimento de um laboratório ao céu aberto<sup>viii</sup> e tem como objetivo gerar “uma melhoria de nosso conhecimento científico sobre o destino da floresta amazônica no contexto atmosférico e de mudanças climáticas” (Lapola & Norby, 2014, p. 16). A instalação principal do laboratório está localizada aproximadamente a 60 km ao norte da cidade de Manaus.

A fim de estudar as incertezas sobre o risco futuro dos ecossistemas amazônicos, o experimento AmazonFACE tem como objetivo primordial “estudar e avaliar a existência e a magnitude do efeito da fertilização por CO<sub>2</sub> na selva amazônica” (Lapola & Norby, 2014, p. 6). Os pesquisadores do experimento buscam nesse local aumentar os níveis de CO<sub>2</sub> nas árvores e monitorar a sua resposta:

O AmazonFACE não se limita a ser um simples experimento científico. É uma **plataforma de pesquisas** sobre os impactos das mudanças climáticas na Amazônia, favorecendo o planejamento da economia e o desenvolvimento regional sustentável. O governo brasileiro, por intermédio do MCTI, considera que a nova parceria com o BID é uma aposta na importância da ciência, da tecnologia e da inovação na preservação e uso sustentável da maior floresta



tropical do planeta e na melhoria das condições de vida das populações amazônicas, com preservação da funcionalidade dos ecossistemas e da biodiversidade (Lapola & Norby, 2014, p. 6, grifo nosso).

O próprio Carlos Nobre, um dos principais meteorologistas no Brasil e como um dos principais pesquisadores ao nível mundial no tema da savanização da floresta amazônica, forma parte do Comitê Científico que iniciou o programa de pesquisa AmazonFACE no ano 2012. Segundo ele, à equipe de pesquisa, as possíveis mudanças climáticas teriam um impacto direto nas concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera, sobre isso, é necessário destacar que a floresta amazônica é criadora de um serviço ecossistêmico de larga escala que funciona como um “*Storage CO<sub>2</sub> Biomass*”, ou seja, um receptáculo de emissões de dióxido de carbono a nível regional (Lapola *et al.*, 2009).

No entanto, os principais promotores do programa AmazonFACE se perguntaram: por que é necessário pesquisar cientificamente as implicações das mudanças no receptáculo de CO<sub>2</sub> amazônico? Sendo que os dados de monitoramento histórico mostraram primeiramente um fator de resposta na floresta positivo, os climatologistas estão se questionando o porquê de alguns dados apontarem para o fato de que mais árvores na floresta estão morrendo do que estão nascendo (Lapola & Norby, 2014). Dita emergência por conhecer cientificamente as concentrações de carbono das florestas tropicais é uma das principais metas das iniciativas internacionais de combate às alterações climáticas, atraindo dezenas de bilhões de dólares em financiamento todos os anos<sup>ix</sup>.

Frases como “esta é uma floresta *high tech*”, “eles têm uma tecnologia tipo da NASA”, “a gente fica muito assustado como todos os equipamentos utilizados no AmazonFACE, a infraestrutura e os aparelhos”, ou “tudo o que acontece cientificamente na floresta tem que passar pelo INPA” foram ouvidas várias vezes nos recorridos de campo no momento de visitar as instalações do AmazonFACE em Manaus. Com aquelas falas os pesquisadores marcavam uma linha divisória entre o que é a floresta e aquilo que não é, não seria apenas uma manifestação da tecnologia, mas também uma forma de estabelecer a prevalência da objetivação da natureza através da medição, codificação e experimentação.

Vessuri (1980) apontou que a escolha de certas tecnologias é uma manifestação concreta das “relações sociais e dos complexos ideológico-culturais” (Vessuri *et al.*, 1980, p. 318, tradução própria). Desta forma o programa de pesquisa AmazonFACE tem mostrado uma



série de escolhas particulares, inclusive, às vezes, consideradas pelos cientistas do programa, como fora da realidade científica brasileira. De fato, as escolhas nas metodologias, ferramentas e aparelhos tecnológicos por parte dos criadores do programa de pesquisa climático têm sido particularmente interessantes, considerando a própria realidades da pesquisa científica brasileira:

... cientificamente falando é uma pesquisa de tamanho industrial e bastante desafiador e afrontoso em muitos sentidos, às vezes surreal, tem muita tecnologia, muitas viagens, para nossa realidade científica brasileira que estamos acostumadas, as amostras são muito grandes, o nosso “N amostral”, ou seja, a suficiência amostral vai ser enorme, e difícil de extrapolar. Nesse sentido a necessidade forte do programa é e vai ser o de dinheiro<sup>x</sup>.

A seguinte imagem é uma das representações “ideais” dos *plots* (áreas) e as torres de injeção do CO<sub>2</sub> projetados no *Plano Científico* do programa de pesquisa (Lapola & Norby, 2014), onde tinham sido planejadas 4 áreas de pesquisa no laboratório. Na imagem estão em funcionamento as torres de injeção de CO<sub>2</sub>, e no centro a torre de monitoramento, e a infraestrutura toda tem um caráter quase industrial, de dimensões enormes, considerando a localização no interior da floresta.



Fig 02: Representação de um dos plots e das torres de injeção de CO<sub>2</sub> Fonte: <https://www.dwih-saopaulo.org/pt/2019/08/09/os-limites-do-crescimento-da-floresta-tropical/>

Mas, o que pode acontecer com uma pesquisa daquelas dimensões e complexidades, na realidade científica no mundo e no Brasil? Que outras opções desenvolveram os pesquisadores do AmazonFACE, diante os cortes orçamentais na ciência brasileira? Como continuar com uma abordagem científica, mas, com amostras e hipóteses bem mais realistas e estreitas?

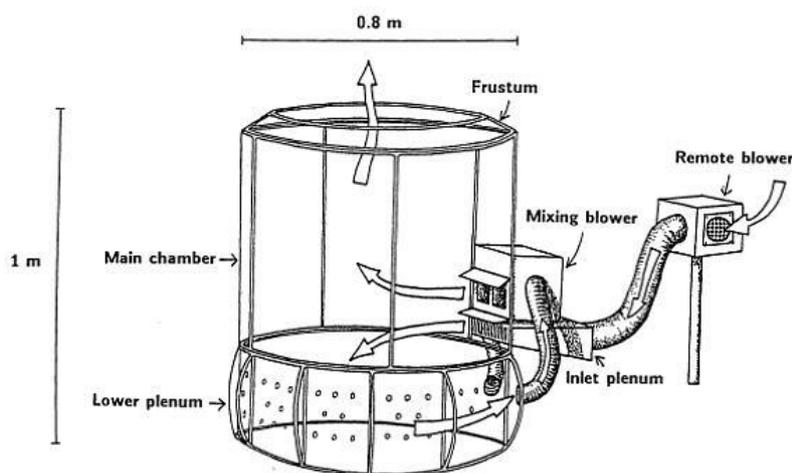


Fig 03: Diagrama OTC (*Open Top Chamber*). Fonte: [https://facedata.ornl.gov/what\\_otc.html](https://facedata.ornl.gov/what_otc.html)

A imagem anterior é o diagrama de uma OTC (*Open Top Chamber*)<sup>xi</sup>, ou estufa de topo aberto. É uma tecnologia que simula uma câmara ou cápsula, onde os níveis de CO<sub>2</sub> são aumentados até conseguir concentrações altas. A tecnologia é pensada no cotidiano dos pesquisadores das ciências biológicas de uma cápsula do tempo, na qual se pode criar um ambiente simulado através da elevação do gás carbônico dentro da câmara. O objetivo é prever o processo acelerado das concentrações globais na atmosfera e assim saber os possíveis cenários em 10, 20 ou 30 anos na frente, com a ideia de não aguardar passivamente o avanço das emissões antrópicas.

É globalmente aceito pela ciência, que a média anual nas concentrações de gás na atmosfera tem sido fortemente ultrapassada, e de fato, no final de 2018, as concentrações alcançaram o nível recorde histórico de 409,92 partes por milhão, conforme relatado pela Administração Nacional Oceânica e Atmosférica dos Estados Unidos (NOAA). Nesse cenário, vários cientistas consideram que 450 ppm é a linha vermelha que não devemos cruzar para evitar a efeitos mais catastróficos das mudanças climáticas<sup>xii</sup>.

Mas, qual é a relação direta das concentrações de CO<sub>2</sub> com a floresta Amazônica? Se sabe que a floresta absorve anualmente aproximadamente o 10% do CO<sub>2</sub> planetário, e no



processo de absorção, a floresta amazônica fixa na terra o carbono (negativo) produzido pela humanidade e produz CO<sub>2</sub> positivo que é necessário para a vida no planeta.

Desta forma o AmazonFACE procura analisar algumas das implicações de que a floresta pare de fazer aquele processo de absorção, com a possível perda das árvores e conseqüentemente uma “savanização”. Os cientistas do programa climática tem coletado uma série de experiências do que pode acontecer no futuro com aquela absorção de CO<sub>2</sub>. Os dados preliminares apontam que no caso de que a sociedade atual continua com a mesma forma de poluição de CO<sub>2</sub>, conhecida como *business as usual*, dificilmente a floresta vai ter possibilidade de se restabelecer naturalmente. Então, a intenção primordial das câmaras do programa será de parametrizar as respostas das plantas as constantes concentrações da sociedade industrial contemporânea, é justificar cientificamente a importância dos programas de proteção da floresta, considerando que ela, para um dos integrantes do Comitê Científico do programa em Manaus: “está nos ajudando a ganhar tempo de uma catástrofe cada vez mais rápida”.

Na matéria no Jornal Nacional da Globo<sup>xiii</sup>, em junho do 2019 mostrava a instalação daquelas câmaras no AmazonFACE, e se afirmou que as OTC poderiam ser pensadas como uma “cápsula do tempo”. Sobre a matéria do jornal e outras matérias publicadas em sítios científicos, uma das coordenadoras de campo no laboratório falou para mim: “tempos agora sim uma máquina do tempo”, e “o 2019 é decisivo, poderia mudar fortemente a estrutura e ter objetivos mais humildes, mas simples” e “ainda que está muito longe do que nós gostaríamos, é um passo importante, intermediário, na consolidação do laboratório como foi originalmente planejado<sup>xiv</sup>. Para ela, a tecnologia das *Open Top Chambers*<sup>xv</sup> no AmazonFACE é, fundamentalmente, uma tecnologia “intermediárias”, para “não deixar morrer a ciência avançada, uma ciência que tem anos e anos, pesquisas de base e incluso dissertações<sup>xvi</sup>”.

Aquela parte precisa do experimento é conduzido em estufas de topo aberto. As estufas possuem formato circular, com estrutura de ferro galvanizado, laterais protegidas por um filme plástico transparente de polietileno com aditivo estabilizador de luz ultravioleta, e são equipadas com um redutor de abertura do topo para deflexionar o ar e prevenir a diluição da concentração desejada de CO<sub>2</sub> dentro da estufa. Duas daquelas OTP estão funcionando e coletando dados e agora a instalação e ativação de 8 em total,



para eles ainda não dá para extrapolar os dados e achados delas em comparação com os resultados das possíveis torres de irrigação.

Nas OTC estão trabalhando com árvores pequenas do sub-bosque, alguns são galos outros são plantas em crescimento, tem umas diferenças importantes em comportamento fisiológico de uma planta pequena em comparação com as outras, plantas sumamente maduras de grande tamanho de 35 a 40 metros de altura. É uma planta pequena que obviamente vai responder ao qualquer estímulo que exista sobre ela, mas é possível ver algumas tendências, algumas respostas e comportamentos vegetais em componentes nutricionais como açúcares, carboidratos do estrato subterrâneo, com as raízes, com o crescimento o detrimento das raízes.



Fig. 04: Open Top Chamber no AmazonFACE. Fonte: Arquivo pessoal

Como vai funcionar aquela “máquina do tempo”? Qual é o valor científico das suas descobertas e previsões? Segundo Castells (1999, 2003), a sociedade não pode ser entendida ou representada sem suas ferramentas tecnológicas e os êxitos tecnológicos passam a servir para a sociedade, como veracidade das teorias que compõem a ciência, ou seja, nos valores e na própria atividade científica. As câmeras OTP, no meu entender, funcionaram cientificamente como uma alerta para a sociedade, elas têm a função de “prever” e justificar aquelas predições do poderia acontecer em 30 ou 50 anos com relação aos níveis de CO<sub>2</sub> na floresta amazônica.



Agora, que as câmaras estão “ligadas”, ou seja, acionadas com a injeção de CO<sub>2</sub> nas árvores da floresta desde finais do ano 2019, temos que aguardar alguns meses de coleta e análise dos primeiros resultados científicos da pesquisa de campo. Aqueles dados serão primordiais no conhecimento profundo das consequências das concentrações de CO<sub>2</sub> antrópicos. Além disso, as pesquisas ajudarão, possivelmente, na criação de rotas e ações realistas com relação aos impactos das afetações da floresta em pé. Representação da natureza, uso e benefício da tecnologia na sociedade, e predição dos possíveis cenários eram ideias que estavam presentes constantemente na linguagem comum dos pesquisadores no projeto, por exemplo, o gerente de operações do AmazonFACE, considera primordial entender na justa dimensão as necessidades em infraestrutura do projeto, e vê como uma oportunidade as limitações que está experimentando o programa.

Ainda as complicações logísticas do próprio experimento (daquela dimensão industrial), vários dos entrevistados acreditam que nenhum programa de pesquisa tinha feito um experimento assim na floresta amazônica, cientificamente tem relevância, mas, também cientificamente estão muito longe das perguntas que a eles tem se proposto a responder, uma das dificuldades são as implicações técnico-metodológica das escalas, por exemplo, da escala do próprio ecossistema selecionado, como árvores realmente grandes e desafiadoras.

Finalmente, é possível afirmar que analisar e discutir a produção e desenvolvimento da C&T na Amazônia requer entendimento e o respeito aos humanos e não humanos. Significa incorporá-la, à C&T de maneira autônoma, ao Brasil e ao resto do mundo como fonte de fatos científicos e realidades objetivadas. Discutir ciência significa dar lugar e importância aos seres falantes e não falantes, pois são eles o nexos social, no sentido de associativo, que constituem o tecido, que engloba o homem em seu meio, amalgamando a sociedade e natureza.

### **Bibliografia**

ALLEN, C. Climate-induced forest dieback: An escalating global phenomenon? *Unasylva* 231/232, 60, pp. 43-48, 2009.

ALMEIDA, S. et al. **O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas**. Estudos Avançados. São Paulo: IEA/USP, v. 19, n. 53, 2005.

AMBAUM, M. **Thermal Physics of the Atmosphere**. John Willey & Sons: New York, 2010.



- ANDREWS, T. et. al. Precipitation, radiative forcing and global temperature change, **Geophysical Research Letters**, Volume 37, Issue 14, July 2010.
- BELOTA, J.; FISCHER, C.; MESQUITA, R. . **Unidades de Conservação do Estado do Amazonas**. Manaus: SDS-AM, 2007.
- BLAUSTEIN, R. Amazon Dieback and the 21st Century, **Bioscience**, 61(3), pp. 176-182, 2011.
- CÂNDIDO, L. et. al. O Clima atual e futuro da Amazônia nos cenários do IPCC: A questão da savanização, **Ciência e Cultura**, 59(3): pp. 44-47, 2007.
- CAMARGO, J.; Reis, E. **Amazonia without myths**. Commission of Development and Environment for Amazonia, Books for Business: New York, 2001.
- CASTELLS, M. **A sociedade em rede**. São Paulo: Paz e Terra, 1999.
- \_\_\_\_\_ **A galáxia da Internet: reflexões sobre a Internet, os negócios e a sociedade**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2003.
- CHRISTOPHERSON, R. **Geossistemas: uma introdução à geografia física**, Bookman: Porto Alegre, 2012.
- COCHRANE, M. et. al. Positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forests, **Science**, Jun 11; 284 (5421): pp.1832-5, 1999.
- COUTO-SANTOS, F.; Luizão, F.; CARNEIRO, A. The influence of the conservation status and changes in the rainfall regime on forest-savanna mosaic dynamics in Northern Brazilian Amazonia, **Acta Amazonica**, vol. 44(2) 2014: pp. 197 - 206, 2014.
- CUÉLLAR, S. et. al. **Deforestation in the Amazonia**, RAISG, 2015.
- FEARNSIDE, P. Global warming in Amazonia: impacts and Mitigation, **Acta Amazônica**, vol.39, n.4, pp.1003-1011, 2009.
- FEARNSIDE, P. **A floresta amazônica nas mudanças globais**, Manaus: INPA, 2003.
- FEARNSIDE. P. Interdisciplinary research as a strategy for environmental science and management in Brazilian Amazonia: potential and limitation. **Environmental Conservation** 37 (4): 376-379, 2010.
- FERREIRA G.; Costa, M. Deforestation causes different subregional effects on the Amazon bioclimatic equilibrium. **Geophysical Research Letters**, Vol. 40, 3618-3623, 2013.
- HANSEN, J., Johnson, A.; Lacis, S.; Lebedeff, P.; Lee, D.; Rind; G. Russell, Climate impact of increasing atmospheric carbon dioxide, **Science**, 213, pp. 957-966, 1981.
- HOUGHTON, J. **Global warming: the complete briefing**. Cambridge University Press: Cambridge, 2009.



IPCC **Cambio climático 2007**. Informe de Síntesis. IPCC, 2007.

IPCC. **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the IPCC**. Cambridge University Press, 2012.

IPCC **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Summaries, Frequently Asked Questions, and Cross-Chapter Boxes. A Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. BARROS, V. et al. (Eds.). United Kingdom and New York: Cambridge University, 2014.

IPCC. **Future Work of the IPCC: Chairman's Vision Paper on the Future of the IPCC**, 2015.

KELLER, M., Bustamante, M., Gash, J.; Días, P. **Amazonia and Global Change**. American Geophysical Union: New York, 2009.

LAPOLA, D.; Norby, R. (coords.) **Amazon Face. Assessing the effects of increased atmospheric CO<sub>2</sub> on the ecology and resilience of the Amazon forest**, Brazilian Ministry of Science, Technology and Innovation (MCTI) and the Inter-American Development Bank (IDB), 2014.

LAPOLA, Oyama M.; NOBRE, C. Exploring the range of climate biome projections for tropical South America: The role of CO<sub>2</sub> fertilization and seasonality, **Global Biogeochemical Cycles**, Volume 23, Issue 3 September, 2009.

LAHSEN, M.; Nobre, C. Challenges of connecting international science and local level sustainability efforts: the case of the Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia, **Environmental Science & Policy** 10, pp. 62-74, 2007.

LAHSEN, M.; MARCOVITCH, J.; HADDAD, E. Dimensões Humanas e Econômicas das Mudanças Climáticas. Nobre, C. e MARENGO, J. (Org.) **Mudanças climáticas em rede: um olhar interdisciplinar**, INCT: São José dos Campos, 2017.

LATOUR, B. **A vida de laboratório: A produção dos fatos científicos**. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1997.

MALHADO, A.; DE AZEVEDO, R.; TODD, P.; SANTOS, A.; FABRÉ, N.; Batista, V.; AGUIAR, L.; LADLE, R. Geographic and Temporal Trends in Amazonian Knowledge Production. **Biotropica** 46(1): p. 6-13, 2014.

MARTÍNEZ, B.; Fernández, R. **Cambio climático: una visión desde México**, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales- Instituto Nacional de Ecología: México, 2008.

MARENGO. J. Water and Climate Change, **Estudos Avançados** 22 (63) 2008.



MARGULIS, S. **Causas do Desmatamento da Amazônia Brasileira**. Banco Mundial, Custos e benefícios sociais dos desmatamentos: New York, 2003.

MEADOWS, D et. al. **Limits to Growth. A Report of the Club of Rome´s**, Potomac Associates Books, 1974.

MONTEIRO, M., Cal Seixas, S. and Vieira, S. The politics of Amazonian deforestation: environmental policy and climate change knowledge. **WIREs Clim Change**, 5: pp.689-701, 2014.

NOBRE, C., Sellers P.; Shukla, J. Amazon Deforestation and Regional Climate Change **Journal of Climate**, American Meteorological Society, Volume 4, October, 1991.

NOBRE, C., Sampaio, G., Bormac, L., Castilla-Rubio, J., Silvae, J.; Cardoso, M. Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. **PNAS** vol. 113 no. 39, pp.10759-10768, 2016.

NOBRE, C; Marengo, J.; Soares W. (Ed.) **Climate Change Risks in Brazil**, Springer, 2019.

SAMPAIO, G. Assessing the Possible Impacts of a 4 °C or Higher Warming in Amazonia, in Nobre, C; Marengo, J.; Soares W. (Ed.) **Climate Change Risks in Brazil**, Springer, 2019.

SANTOS FILHO, J.R. A instituição imaginária da Amazônia Brasileira: registros cognitivos e práticas sociais. **Núcleo de Estudos sobre Situações de Violência e Políticas Alternativas**. Departamento de Sociologia da Faculdade de Ciências e Letras de Araraquara, 1999.

SALAZAR, L., Nobre, C.; Oyama, M. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. **Geophysical Research Letters**, 34: L09708, 2007.

SALAZAR, L. **Consequências das mudanças climáticas dos biomas da América do Sul, com ênfase na Amazônia e Nordeste**. INPE, Tese de Doutorado do Curso de pós-graduação em Meteorologia 29 de julho de 2009.

SENNA, M., Costa, M., Davidson, E.; Nobre, C. Modeling the impact of net primary production dynamics on post-disturbance Amazon savannization. **An Acad Bras Cienc**, 86 (2), 2014.

VESSURI, H. et al. Technological Change and the Social Organization of Agricultural Production. **Current Anthropology**, 21(3):315-327, 1980.

WANG G., Wang, D., Trenberth, K., Erfanian, A., Yu, M., Bosilovich, M.; Parr, D. The peak structure and future changes of the relationships between extreme precipitation and temperature. **Nature Climate Change** 7, pp. 268-274, 2017.



ZEMP, D., Schleussner, C.; Barbosa, H.; Hirota, M.; Montade, V.; Sampaio, G. Staal, A.; Wang-Erlandsson, L.; Ramming, A. Self-amplified Amazon forest loss due to vegetation-atmosphere feedbacks. **Nature Communications** 8, Article number: 14681, 2017.

Recebido em: 01/05/2020

Aceito em: 05/06/2020

---

i Doutorando Programa de Pós Graduação em Política Científica e Tecnológica, Instituto de Geociências, UNICAMP, email: [ramirez.autran.rodriigo@gmail.com](mailto:ramirez.autran.rodriigo@gmail.com)

ii <https://www.dw.com/pt-br/a-amaz%C3%B4nia-%C3%A9-realmente-o-pulm%C3%A3o-do-mundo/a-50228818>  
Acesso: 22/08/2018.

iii <https://g1.globo.com/natureza/noticia/2019/08/28/amazonas-bate-recorde-historico-de-focos-de-queimadas-em-agosto.ghtml> Acesso: 28/08/2019

iv [https://g1.globo.com/google/amp/natureza/noticia/2020/01/14/area-com-alerta-de-desmatamento-na-amazonia-sobre-85percent-em-2019-ante-2018-segundo-o-inpe.ghtml?fbclid=IwAR3aKwDsrBIckjyJ5n5KTuPFpkYGXw\\_QaNXDF-PzOQBKwG-hTRkvJeAoGuU#referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com&amp\\_tf=Fonte%3A%20%251%24s](https://g1.globo.com/google/amp/natureza/noticia/2020/01/14/area-com-alerta-de-desmatamento-na-amazonia-sobre-85percent-em-2019-ante-2018-segundo-o-inpe.ghtml?fbclid=IwAR3aKwDsrBIckjyJ5n5KTuPFpkYGXw_QaNXDF-PzOQBKwG-hTRkvJeAoGuU#referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com&amp_tf=Fonte%3A%20%251%24s)  
Acesso: 16/01/2020.

v <https://exame.abril.com.br/ciencia/amazonia-vai-virar-savana-talvez-nao-diz-novo-ipcc/> Acesso: 7/09/2018.

vi <http://acervo.folha.uol.com.br/fsp/2007/04/04> Acesso: 4/05/2018.

vii <https://amazonface.inpa.gov.br/> Acesso: 05/10/2019.

viii O projeto é financiado por múltiplas instituições: o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTI), que atuaram na etapa inicial do projeto e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), e a fundação Serrapilheira na etapa atual. Participam do projeto aproximadamente 40 pesquisadores oriundos de três continentes diferentes. Além do laboratório ao céu aberto, o projeto tem instalações e equipes de pesquisa no Instituto Nacional de Pesquisa Amazônica (Inpa), bem como na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).

ix <http://portalamazonia.com/noticias/conservacao-na-amazonia-focada-em-carbono-pode-desproteger-a-biodiversidade>  
Acesso: 22/07/2019.

x Cássio Silva, Doutorando INPA (entrevista)

xi Fonte: [https://facedata.ornl.gov/what\\_otc.html](https://facedata.ornl.gov/what_otc.html) Acesso: 22/02/202

xii Fonte: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-47706576> Acesso: 14/03/2020

xiii [https://globoplay.globo.com/v/7661698/programa/?fbclid=IwAR2XL5jZyZZNNzAPGAB2dV2cVpnW\\_rbjgmOAn-roMFsNtnZy0rPoulgz4vs](https://globoplay.globo.com/v/7661698/programa/?fbclid=IwAR2XL5jZyZZNNzAPGAB2dV2cVpnW_rbjgmOAn-roMFsNtnZy0rPoulgz4vs) Acesso: 22/09/2019.

xiv Dra. Sabrina García, entrevista em Manaus.

xv As câmaras de topo aberto são amplamente usadas para estudar os efeitos do CO<sub>2</sub> elevado e outros gases atmosféricos na vegetação. São caixas de plástico, com um topo aberto, construído de uma estrutura de alumínio coberta por painéis de filme plástico de cloreto de polivinila. O ar é puxado para o fundo da câmara, enriquecido com CO<sub>2</sub> e depois soprado através do topo aberto da câmara. Eles são relativamente baratos para construir e manter, no entanto, não são apropriados para o estudo de vegetação grande (por exemplo, ecossistemas florestais). [https://facedata.ornl.gov/what\\_otc.html](https://facedata.ornl.gov/what_otc.html) Acesso: 22/09/2019.

xvi Sabe-se que pesquisas laboratoriais e experiências científicas em andamento, ajudam no aprofundamento nas descobertas dos cientistas, nas tensões cotidianas, na sua própria organização, e não apenas de seus resultados (LATOURET, 1997). Desta forma será valioso para aqueles sociólogos da ciência, como no meu caso particular que procuram entender o processo da construção do conhecimento científico.