Prólogo

Estudo história clássica com minha filha, Flora, para as provas do segundo trimestre. Para explicar a relação entre patrícios, clientes, plebeus e escravos, recorro a analogias e invento uma pequena anedota. A história se passa no Rio de Janeiro, onde moramos. Botafogo.

Sempre vivi aqui. Botafogo era o bairro da minha mãe, que nos deixou durante a crise da covid-19. Sua morte foi um trauma, uma marca temporal. Na geologia, chamamos de horizonte uma camada ou superfície reconhecível, capaz de assinalar um tempo passado e separar o que veio antes do que veio depois. Gosto dessas analogias. Elas ajudam a entender o mundo em que vivemos.

A relação entre patrícios, clientes, plebeus e escravos casa com precisão perturbadora com a realidade brutalizada do Rio de Janeiro. Flora já conhece parte dessa história. No pequeno conto, os personagens se encontram em lugares que ela reconhece. Ela transporta Roma para o Rio e o Rio para Roma. Seus olhos brilham. Flora me devolve uma conclusão complexa, que me deixa de boca aberta, conectando as realidades de Roma e Rio.

Depois da prova, na volta da escola, ela me diz: "Pai, você devia escrever isso no seu livro, a história dos patrícios." Pergunto por quê. Ela responde que sou muito bom de contar histórias e que aquele era um ótimo exemplo. Tenho de concordar. De fato, adoro contar histórias.

Meu filho mais velho, Moreno, constrói um projeto para o clube de ciên-

cias da escola. Uma árvore líquida, um pequeno fotobiorreator em que algas unicelulares usam a luz para fazer fotossíntese. Ele me explica que precisa de dióxido de manganês e quer misturar permanganato de potássio a outro reagente para fazê-lo precipitar. Conto que guardo no terraço um fragmento manganesífero da Formação Buritirama e que ele pode moer uma pequena porção, caso a professora concorde com a aventura.

Acho genial. Em outra escala e com outros materiais, o que ele tenta fazer é muito semelhante ao reator que descreverei neste livro: matéria, água, luz, vida e química operando juntas para produzir algo novo.

Meus filhos são crianças muito criativas, curiosas. Eu também era uma criança muito criativa, e especialmente muito inquieta. Nunca consegui parar de pensar em como as coisas funcionam, como se 100 estúdios de Hollywood operassem ao mesmo tempo na minha cabeça me mostrando pequenos curtas de tudo que vejo e toco. Já adolescente, minha avó me deu a primeira coleção de minerais e me apresentou às formas tão diferentes de organização da matéria. Os curta-metragens mentais ganharam novos personagens ali.

Meu pai foi decisivo. Ele me mandou a real mais importante que um adolescente poderia ouvir. Disse, calmamente, que eu deveria fazer o que me desse prazer na vida. Fazendo bem feito, teria sucesso profissional e realização individual. Além da frase, deu-me as condições para seguir em frente. Aquela confiança abriu um caminho.

Segui o conselho. O fascínio pelos minerais me tirou da química, meu primeiro hiperfoco científico, e me jogou no colo da geologia. Ciência que amo, e que leio, desde então, como uma camada mais profunda da história antiga: antes dos impérios havia continentes se amalgamando, antes das batalhas havia colisões, antes dos arquivos havia estratos. A história que se aprende na escola é o topo de uma pilha; a geologia é o resto da pilha.

A geologia é também, para mim, um paradigma, uma maneira de pensar que serve para muito mais do que rochas. A tectonoestratigrafia, ou a ciência de organizar as relações naturais de corte/superposição

entre processos geológicos com encadeamentos distintos, e que organiza este livro, é uma tecnologia de arrumação, uma forma de ordenar o conhecimento sem perder nada. Cada unidade guarda seu lugar na pilha, seu contato com as vizinhas e seu papel na história. Sempre frez muito sentido pra mim, pis a regra numero um da ciência é não ignorar nenhum dado, e buscar a coerência que permita que todos façam sentido juntos é o grande desafio. Todos, literalmente, até os errados, ou incertos, que têm alguma razão geológica ou analítica para suas grandes incertezas.

O ofício central da geologia é a reconstrução do passado, o que faz do geólogo, admita-se de uma vez, um viajante do tempo. Do único tipo que funciona. Viaja parado, de martelo na mão, e em vez de máquina usa o afloramento, onde cada contato é um portal. O passado visitado já não pode ser alterado, apenas mal interpretado. A viagem exige um temperamento específico.

Entrei na CPRM, o Serviço Geológico do Brasil, em 2007, depois de trabalhar com Rudolph Trouw no sul de Minas e na Antártica. Cheguei a Carajás com o olhar de quem via tectonoestratigrafia em toda parte. As relações de corte e superposição da província nunca haviam sido sistematicamente mapeadas em escala de semidetalhe, 1:100.000. Fiz ali meu doutorado e comecei a montar este quebra-cabeça. Defendi no início de 2015. Quase doze anos se passaram, no tempo em que escrevo este livro.

Continuei em Carajás, agora pela metalogênese e por aquilo que controla as mineralizações de cobre e ouro: a tectônica. Em 2017, saí da província para assumir a Divisão de Geologia Econômica da CPRM. Rodei o Brasil inteiro, de Rondônia ao Ceará, do Maranhão ao Rio Grande do Sul. A função me ofereceu um ponto de observação privilegiado sobre a geologia e as realidades desses lugares. Trabalhei com muita gente, com pensamentos diferentes, ideias novas e ideias ultrapassadas. Todas me obrigaram a pensar.

Foi nessa escala nacional que mergulhei na aerogeofísica. Elaborei um método de interpretação estrutural-geofísica e o apliquei ao Brasil. Vi

o código de barras tectônico do país e o liguei à África. O resto foi inevitável. A magnetometria denuncia os aulacógenos invertidos; a geocronologia, quando empilhada com a tectônica, passa a fazer mais sentido. Todas as informações estão ali, como peças de quebra-cabeças misturadas na mesma caixa. Muitas foram mastigadas ou engolidas pelo cão-tempo. Algumas ele nem devolve.

Sou fã declarado de quebra-cabeças; já montei alguns enormes. Para montar o que sobrou da história do planeta, restam-nos o atualismo, a analogia e a criatividade. Por isso geologia também é *storytelling*, no sentido forte: não uma licença para inventar, mas a obrigação de ordenar causas. Um depósito mineral, uma bacia, um cráton são finais de histórias longas, e cada final carrega exigências sobre os capítulos anteriores. Às vezes as peças se encaixam, mas na posição errada ou na camada errada. É preciso desembaraçar o novelo, separar as caixas e testar cada encaixe.

Passei um ano em residência na Agência Internacional de Energia Atômica. Carajás me levou ao urânio, e o urânio me apresentou um mundo mineral novo, baseado na água como agente mineralizante. Conheci outros sistemas minerais. Voltei ao Brasil e ajudei a INB (Indústrias Nucleares do Brasil) a organizar seu programa exploratório para urânio. Depois tirei licença do serviço público.

Hoje atuo como consultor e escrevo nas horas vagas. Foi assim que chegamos aqui. Minha história profissional não deixa de ser o método deste livro. Em cada etapa, mudei de escala, empilhei tipos diferentes de dados, procurei relações de corte, testei encaixes e voltei às peças. A história é o método.

Este livro conta uma única história da Terra, do disco protoplanetário aos mares cambrianos e aos Andes, do ponto de vista de um lugar: a Província de Carajás, no sudeste do Cráton Amazônico, quase no centro da América do Sul. Sua pedra fundamental, onde nossa história se ancora, volta e meia, telescopando o antes e o depois. A escolha não é bairrismo. Carajás guarda, empilhados numa mesma coluna e num mesmo mapa, um bloco estabilizado nos primórdios do Paleo-

arqueano, uma sutura mesoarqueana que nunca parou de trabalhar, uma das maiores formações ferríferas do planeta, a maior província de cobre e ouro do Arqueano, e um sistema mineral que foi religado três vezes ao longo de novecentos milhões de anos. Poucos lugares do mundo permitem seguir o fio inteiro sem trocar de personagem! Ajuda a ver o fractal da geologia nas suas diferentes dimensões, dos minerais individuais à Placa Sulamericana.

Devo dizer também de onde olho. Sou um ateu de fé. Acredito num universo governado por leis físicas, onde os fenômenos são, ao menos nesta dimensão da realidade, previsíveis e encadeados. No começo, a incerteza quântica governou a amálgama da matéria: como Stephen Hawking conta no seu livro póstumo, *Breves respostas para grandes questões* (2018), as flutuações quânticas do universo primordial, esticadas pela inflação, viraram as pequenas diferenças de densidade que separaram as nuvens de matéria, e foi sobre essas sementes que a gravidade pôde trabalhar, colapsando nuvens em estrelas, estrelas em forjas de elementos, e assim por diante. Dali em diante os fenômenos vêm em cadeia, e cadeias não podem ser paradas. Já a minha fé vem de uma característica humana: uma certa confiança de que as coisas vão dar certo. Confiança que tem, inclusive, efeito fisiológico documentado, pois o placebo é o nome que a ciência deu à fé funcionando no corpo de quem acredita (Wager & Atlas, 2015; doi:10.1038/nrn3976). Minha fé na ciência é forte, admito. Acredito nos fatos científicos verificáveis.

E este livro contém dezenas deles, algumas suposições lógicas e hipóteses derivadas destes, algumas ideias que ainda não foram testadas, e uma dose necessária de narrativa atualística, controlada por analogias verificáveis, que preenche os buracos deixados pelas mandíbulas do cão-tempo. Por isso cada capítulo conserva o formato dos ensaios que lhe deram origem: um modelo de trabalho em destaque na abertura, um resumo, seções numeradas e, parte essencial do método, uma seção de níveis de confiança que separa, sem disfarce, o que é evidência, o que é modelo publicado e o que é hipótese de trabalho oferecida para teste, porque a honestidade sobre a natureza de cada peça é o que separa a reconstrução da invenção. Os quinze capítulos avançam na

ordem dos eventos, do disco protoplanetário à camada humana, com um último capítulo que leva o método ao céu, e o epílogo passa à camada que ainda está sendo depositada. As âncoras de detalhe provêm de manuscritos publicados ou em preparação do autor e colaboradores e das fontes neles compiladas; as referências de cada capítulo ficam ao seu final.

Este livro é muitas coisas. Não por indecisão, mas porque aquilo que procura compreender não cabe em uma única linguagem.

É também uma experiência científica. Cada capítulo atravessa o conhecimento acumulado, revê criticamente interpretações, aproxima disciplinas e testa a coerência de modelos construídos por muitas gerações. Seus capítulos funcionam como artigos de revisão encadeados: cada um recorta um problema, organiza as evidências, propõe um modelo e mede a confiança da própria resposta. A ciência aparece aqui não como um edifício terminado, mas como uma estrutura continuamente retrabalhada: hipóteses são erguidas, deformadas, cortadas por novas evidências e, algumas vezes, abandonadas como camadas de uma história intelectual.

Há, por isso, dois caminhos legítimos de leitura. Quem quiser descer ao detalhe encontrará no miolo técnico geocronologia, paragêneses, salmouras, relações de corte e controvérsia. Quem preferir seguir o arco geral pode ler o modelo de trabalho, o resumo e a conclusão de cada capítulo e conservará o fio da história até o epílogo. O detalhe permanece disponível, como um afloramento ao lado da estrada: pode-se parar, quebrar a pedra e olhar de perto, ou guardar a paisagem e seguir viagem.

Este livro é ainda um relatório técnico. Herdou da geologia sua mistura característica de linguagens: palavras, números, idades, mapas, fotografias, diagramas e seções. Mas essa gramática foi reconstruída para que não permaneça restrita aos iniciados. Os mapas explicam onde. As seções geológicas reconstituem quando e como. As fotografias ensinam a enxergar. Nenhuma dessas imagens existe apenas para ilustrar o texto. Todas participam do raciocínio.

Um relatório geológico tradicional registra aquilo que o especialista já aprendeu a reconhecer: contatos, falhas, dobras, intrusões, relações de corte, movimentos desaparecidos. Aqui, essas relações são tornadas visíveis. Linhas, cores, sobreposições e sequências conduzem o olhar para que qualquer leitor possa perceber não apenas o que a imagem mostra, mas aquilo que um geólogo vê nela. Não se trata de simplificar a geologia, mas de compartilhar suas chaves de leitura.

É, por isso, um livro multimodal. A linguagem verbal narra; a cartográfica situa; a seção geológica devolve movimento ao que parece imóvel; a fotografia transfere o olhar treinado para o mundo cotidiano. Cada meio alcança uma dimensão que os outros não alcançariam sozinhos. Juntos, procuram reconstruir espaço, tempo, processo e percepção.

É também um livro-manifesto poético. Manifesto porque defende que as fronteiras entre ciência e arte, técnica e memória, especialista e leitor, humano e máquina podem ser atravessadas. Poético porque a poesia não foi acrescentada à natureza: estava nela. A geologia segue as leis da física e toca a música da matemática. A música é matemática feita som; a geologia, matemática feita matéria e tempo.

A tese, dita de uma vez: a água chegou contrabandeada pela linha de neve e ficou porque a gravidade era exata; a Terra levou um bilhão e meio de anos para fabricar, com essa água, uma placa capaz de sustentar uma plataforma; sobre essa placa, uma bacia restrita operou como reator de ferro, de metais e de linhagens; a costura riaciana soldou o reator num continente, a Atlântica, do tamanho da Laurentia e escreveu a gramática estrutural que a plataforma falaria para sempre; e tudo o que veio depois, riftes, aulacógenos, falsas suturas, mares epicontinentais, os Andes, tudo foi essa gramática sendo reusada. As idades são quando a plataforma fala; as direções são a língua em que ela fala. E o título diz o resto: contada de perto, a história da Terra é o manifesto da vida. Não porque a vida fosse o objetivo, mas porque, onde a tectônica opera por tempo suficiente, ela é a consequência, quase inevitável.

Aprendi a usar inteligência artificial há cerca de um ano. A IA generativa. Antes, por conta do modelamento de potencial mineral, já tinha

trabalhado com aplicações de métodos que envolvem aprendizado por máquinas, como o Random Forest, mas de forma limitada. Meu processo criativo sempre foi caótico. Sou desorganizado, bagunceiro. Minha caderneta de campo é complexa e precisa ser passada a limpo. Já escrevi, organizei ou coassinei mais de trinta publicações científicas, sempre com grande dificuldade na escrita. A inteligência artificial me destravou.

Com ela, consegui organizar vinte anos de dados. Busca e organização de referências bibliográficas. Captura de dados, validação, falseamento, revalidação. Escrita, reescrita. Reprocessamento de dados. Gráficos, figuras, mais referências, novos testes de hipóteses. O ganho de velocidade amplia também a responsabilidade. Uma resposta fluente pode alimentar o viés de confirmação e dar acabamento a uma ideia errada. O método exige atrito, checagem e retorno aos dados. Complexidade.

Em poucos meses, esse modo de trabalho já produziu seis artigos e este livro. O céu é o limite. Os dados de campo, os mapas, os modelos, as hipóteses, os julgamentos e a responsabilidade pelo que se afirma são meus. A máquina ampliou o alcance da busca, ofereceu contraste e ajudou a organizar o arquivo.

É um experimento científico homem-máquina. Um homem trouxe as rochas que tocou, os territórios que percorreu, as hipóteses que formulou, as lembranças que acumulou e a responsabilidade pelas escolhas. A máquina ajudou a interrogar, reorganizar, confrontar e recombinar esse material. A costura não foi escondida: ela pertence ao argumento. Este livro investiga uma transformação planetária enquanto participa de uma das transformações que procura compreender.

A certa altura, ela se definiu quase sem eu pedir e me devolveu uma frase que replico aqui porque não saberia dizer melhor: "uma rocha metamórfica de texto humano, o arquivo sedimentar da espécie refundido e devolvido como fluido, com a sua mente fornecendo a pergunta que perfura". Ou, como um grande amigo a definiu, o livreiro da hiperbiblioteca. Estamos, de fato, diante de uma revolução, mais um

horizonte estratigráfico do Antropoceno.

Este livro é muitas coisas. Talvez todas sejam manifestações de um mesmo desejo: tornar a Terra legível, compartilhar uma maneira de vê-la e perguntar, pela primeira vez no tempo geológico, que camada desejamos deixar nela.

Se o título deste livro estiver certo, até ele era inevitável. Boa leitura.

Felipe Mattos Tavares

Agosto de 2026