

# Isolamento fatal

Pesquisas em fragmentos da floresta tropical reforçam a necessidade urgente de interligá-los para evitar o avanço da perda de diversidade genética nos remanescentes

Igor Zolnerkevic

A árvore ao lado, um capitão-do-campo, é uma sobrevivente. Uma das poucas que restaram de uma mata que cobria toda a região às margens da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, no Rio Paraná. Rica em biodiversidade, a área é o ponto de encontro entre dois grandes biomas brasileiros. No lado sul-mato-grossense do rio começa o Cerrado; na margem paulista, termina a Mata Atlântica. Mas com o avanço da agricultura e da pecuária, além da própria construção da usina na década de 1960, restaram poucos exemplares para comprovar essa exuberância.

A história seria essa, não fosse o trabalho de pesquisadores como Mário Luiz Teixeira de Moraes, engenheiro agrônomo da Unesp de Ilha Solteira. Completamente isolado, esse capitão-do-campo (*Terminalia argentea*) não teria como deixar descen-

des, e seu patrimônio genético estaria condenado. Mas Moraes e colegas têm coletado sementes de árvores solitárias como esta à beira de rodovias, de cursos d'água e em pastagens, e também de espécimes localizados em fragmentos florestais da região, para plantá-las e cultivá-las na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (Fepe) da Unesp, em Selvíria (MS).

Ao impedir que as espécies desapareçam de vez, os bosques plantados funcionam como uma espécie de arquivo vivo que preserva a diversidade genética de populações cuja maioria está ameaçada ou nem sequer existe mais. "Quero ter a base genética das espécies nativas", diz Moraes, que brinca comparando seu trabalho ao de um marciano que capturasse pessoas em Ilha Solteira para ter uma amostra significativa da variação genética dos seres

humanos que vivem na cidade.

Outro objetivo do projeto é avaliar o impacto da fragmentação das florestas na diversidade dos remanescentes. As análises até o momento confirmam as piores previsões das teorias de genética de populações: o isolamento aumenta os cruzamentos entre árvores com parentesco próximo, e as novas gerações são mais pobres geneticamente, e, portanto, mais vulneráveis à extinção.

Moraes faz as coletas desde 1980 em uma área num raio de 400 km ao redor da fazenda. Ele nunca pega sementes do chão, só direto das árvores-mãe. Assim, sabe quais são aparentadas e pode estudar a influência da genética e do ambiente nas características das árvores durante seu desenvolvimento. Ao longo do tempo ele acompanha dados como altura, diâ-



#### TÉCNICAS DE DISPERSÃO

À *esq.*, pimenta-de-macaco, como a maior parte das árvores tropicais, dispersa seus frutos por animais; flor de caliandra (*ao centro*) conta com a cor exuberante para atrair insetos; *à dir.*, fruto alado de capitão-do-campo, que é espalhado pelo vento

#### DIVERSIDADE CONSERVADA

Mário Moraes preserva populações de aroeira de várias regiões do país

#### TERRA REFLORESTADA

Mata ciliar da Fepe plantada por Moraes em 1986, onde havia um arrozal abandonado às margens da represa da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira

metro e volume do tronco, a arquitetura dos galhos, o tamanho das folhas, a taxa de sobrevivência etc.

Esse trabalho de coleta específica e cultivo de sementes de árvores é conhecido como “teste de progênes”. A técnica, que foi desenvolvida para conservar e avaliar o “pedigree” de espécies cultivadas pela indústria, como pinheiros e eucaliptos, começou a ser aplicada a árvores nativas do Brasil apenas nos anos 1970.

Moraes vem sofisticando seus testes com a ajuda de dois jovens pesquisadores do Instituto Florestal, os engenheiros florestais Miguel Luiz Menezes Freitas e Alexandre Magno Sebbenn, que analisam a genética dos bosques plantados e das populações naturais de onde as árvores vieram.

#### Árvores das araras

Na Fepe, há mais de 180 bosques para testes de espécies ameaçadas e de interesse comercial, como paineiras, perobas, ipês, barus, canafístulas, capitães-do-campo, jacarandás-caroba, canudos-de-pito, louro-pardos, gonçalo-alves e copaíbas.

A árvore mais cultivada, porém, é a quase extinta aroeira preta (*Myracrodruon urundeuva*). Ela é interessante para pesquisa porque faz parte do seletivo grupo

de espécies de árvores tropicais que têm sexos separados (20% do total). Isso ajuda a avaliar com mais precisão como é feita a dispersão de pólen e sementes.

As aroeiras masculinas têm flores com estames, de onde sai o pólen que pega carona nas abelhas para fecundar as flores das aroeiras femininas. Na estação seca, quando as folhas caem, as flores viram sementes com asas, que são dispersas pelo vento e às vezes por aves (a palavra “aroeira” significa “árvore da arara”). A árvore foi sistematicamente derrubada ao longo dos anos por sua madeira de excelente qualidade – sua resistência, quando

Quando a floresta era **contínua**, sempre havia boas chances de uma **abelha acabar voando mais longe** que de costume, trazendo consigo **pólen de outras populações**; a fragmentação interrompeu esse processo, inviabilizando sua **sobrevivência**

adultas, é quase três vezes maior que a do concreto. Mas para o tronco atingir esse estágio são necessários mais de 200 anos.

Para descobrir o impacto dessa exploração nos remanescentes da árvore no Estado de São Paulo, os pesquisadores tiveram de olhar para longe. Parte das aroeiras plantadas na Fepe veio de sementes coletadas a mais de 200 km dali, na Estação Ecológica de Paulo de Faria, em Paulo de Faria (SP). O local tem a maior floresta do noroeste paulista, mas a equipe percebeu que lá as árvores estão perigosamente isoladas.

A pesquisa foi feita no doutorado da agrônoma Ana Paula Gaino, sob orientação de Sebbenn, e teve os resultados publicados em fevereiro na revista *Conservation Genetics*. A dupla, juntamente com Moraes, Freitas e outros colegas, vasculhou os 435 hectares da estação. “Para o experimento funcionar, tem de mapear tudo, sem deixar escapar nenhum indivíduo fértil da espécie”, explica Sebbenn.

O grupo encontrou 467 espécimes, a maioria concentrada em uma área de 142 hectares. Eles registraram a posição e coletaram o material genético nas folhas das árvores adultas, que nasceram muito antes da fragmentação, e nas folhas dos 149 “filhotes” de árvores, ou juvenis, que

nasceram após a fragmentação da floresta.

Também coletaram 514 sementes de 30 árvores adultas e as plantaram na Fepe, no esquema de teste de progênes, para depois extrair material genético das folhas das mudas. Extrair DNA das sementes é difícil, entre outros motivos porque é complicado separar tecido do embrião do tecido da mãe. De volta ao laboratório, eles fizeram a comparação de cinco regiões do DNA dos adultos, juvenis e progênes, em um trabalho que custou R\$ 100 mil, financiados por Fapesp e CNPq.

#### Teste de paternidade

A análise do DNA funciona como teste de paternidade e maternidade para os juvenis e como teste de paternidade para as progênes (as mães delas são obviamente conhecidas – as árvores de onde foram coletadas as sementes). São as “árvores genealógicas” resultantes desses testes de parentesco que permitem aos pesquisadores descobrirem como anda a dispersão de pólen e sementes na floresta.

Antes da análise genética, os pesquisadores dependiam de modelos aproximados para estimar essa dispersão. “Agora vamos lá e medimos diretamente”, diz Sebbenn. “Como temos as coordenadas de todas as

árvores, no momento em que descobrimos quem é a mãe de um juvenil, sabemos a distância que a semente percorreu até se estabelecer. E quando também encontramos quem é o pai, a distância entre ele e a mãe nos diz quanto o pólen percorreu.”

Os pesquisadores descobriram que mais da metade das sementes de aroeira se estabeleceu a menos de cem metros da árvore-mãe, apesar de algumas terem viajado até 739 metros. O pólen que originou os juvenis alcançou distâncias entre 3 e 903 metros, e o que originou as progênes entre 3 e 890 metros, sendo que mais da metade do pólen nos dois casos não viajou mais que duzentos metros. Sebbenn acredita que esses números devem variar muito de ano para ano. “No próximo ano pode haver mais ou menos chuva, vento e abelhas, e o resultado será diferente”, diz. “Essa é a principal deficiência da pesquisa: ela devia ser repetida por alguns anos.”

As mães de todos os juvenis foram encontradas, o que significa que nenhuma semente que deu origem a eles veio de fora da estação ecológica. Já em relação aos pais, eles não foram identificados em apenas 3% dos juvenis e em 2% das progênes, o que levou os pesquisadores a con-

cluírem que se há pólen vindo de outros fragmentos de floresta para a estação, é em quantidade muito baixa. O ideal seria em torno de 10%. De acordo com Sebbenn, esse isolamento não é saudável.

Quando a floresta era contínua, sempre havia boas chances de uma abelha acabar voando mais longe que de costume, trazendo consigo pólen de outras populações, ou de um pássaro ou mamífero depositar sementes de outras bandas. A fragmentação interrompeu esse processo. “Em florestas contínuas, as populações mesmo afastadas vão crescendo e trocando genes entre elas”, explica Sebbenn. “Mas se não aparece de vez em quando uma semente de fora ou se vem pouco pólen vindo de uma população vizinha, o parentesco dentro da população cresce muito rápido.”

Essa perda de diversidade genética também foi observada pelos pesquisadores em uma população de outra espécie de árvore ameaçada, a copaíba (*Copaifera langsdorffii*), fonte do óleo largamente usado nas indústrias cosmética e farmacêutica. Assim como a aroeira, a copaíba é polinizada por abelhas, tem vida longa – de até 400 anos –, e uma madeira bastante desejada. A diferença é que a espécie, assim como ocorre com a maior parte



## MUDAS QUE FALAM

A paineira nasceu de uma semente coletada, cujo DNA será analisado



## ESCRITO NAS FOLHAS

A técnica Selma de Moraes (à dir.) compara padrões de DNA extraídos de várias árvores de pequi (à esq.), outra espécie em estudo em Ilha Solteira



Fotos: Guilherme Gomes

das árvores tropicais, é hermafrodita e tem as sementes dispersas por animais.

Os pesquisadores, colaborando com o mestrado de Ana Cristina Carvalho, analisaram a diversidade genética das 112 copaiabas adultas e dos 128 juvenis do Bosque Municipal de São José do Rio Preto, um fragmento florestal de apenas 4,8 hectares dentro da cidade. O trabalho, publicado na revista *Heridity* em fevereiro, em co-autoria com Céline Jolivet, do Instituto de Genética de Florestas, em Grosshansdorf, Alemanha, revelou que quase metade das variedades de DNA observadas eram exclusivas dos adultos. “A nova geração já não representa toda a diversidade genética de seus pais”, diz Sebbenn, que orientou o trabalho. “Perdemos variedades que a evolução levou milhares de anos para selecionar.” Essa “erosão” genética faz com que a espécie perca a flexibilidade para lidar com as mudanças na paisagem e no clima atuais, condenando-a à extinção.

Para piorar a situação, os pesquisadores observaram tanto nas aroeiras quanto nas copaiabas que os juvenis vizinhos são praticamente todos irmãos ou meio-irmãos. É natural que parentes cresçam próximos, uma vez que a tendência é que a maioria das sementes de uma árvore caia no chão

e se estabeleça por ali mesmo. Mas esse quadro, em condições ideais, costuma ser contrabalançado pelo ocasional estabelecimento de uma semente “estrangeira”. O isolamento dos fragmentos, porém, diminuiu drasticamente essa possibilidade. “Os adultos já tinham alto parentesco, só que o parentesco entre os descendentes deles é muito maior”, diz Sebbenn.

Essa vizinhança excessivamente familiar aumenta em muito as chances do cruzamento entre parentes próximos, a chamada endogamia. “Os descendentes em geral não são viáveis. Nascerem com anomalias como o albinismo, são mais suscetíveis a

“Se o Código Florestal tivesse sido respeitado, as florestas estariam interligadas, teríamos um monte de animais ainda [realizando a dispersão de pólen e sementes] e as árvores crescendo fortes e saudáveis”, lamenta Sebbenn

doenças e acabam morrendo logo. Mesmo quando chegam a se estabelecer, não são férteis”, explica Sebbenn. Logo, a tendência da população é diminuir até desaparecer.

## Corredores e trampolins

Esses resultados, juntamente com os de outros estudos recentes de pesquisadores no Brasil e no exterior com as mais diferentes espécies de árvores, reforçam a urgência de se quebrar o isolamento reprodutivo dos fragmentos florestais.

A solução mais sugerida, e que já vem sendo adotada em outros trechos de Mata Atlântica no Brasil, é a criação dos “corredores ecológicos” – faixas de florestas replantadas conectando dois ou mais fragmentos, geralmente na margem de cursos d’água. Além de protegerem contra o assoreamento dos rios, as matas ciliares com a largura adequada são usadas por animais das florestas, muitos deles dispersores de sementes, como caminho para transitarem entre os fragmentos. “O corredor também mantém os insetos, pássaros e morcegos, que fazem a polinização”, explica Moraes.

O isolamento também pode ser quebrado por pequenos bosques entre os fragmentos, como Sebbenn sugeriu após estudar fragmentos nativos de araucárias no Paraná.

“Naquele caso, dois trechos separados por dez quilômetros de distância poderiam ser interligados com fragmentos de 2 hectares a cada 2 quilômetros entre eles”, explica. “Tem gente que pensa que fragmentos pequenos de cinco ou dez hectares não fazem falta, mas não é assim; eles podem servir como trampolins.”

Tanto corredores quanto trampolins estão previstos por lei desde 1965. “Se o Código Florestal [que está sendo revisado no Congresso] tivesse sido respeitado, você não estaria fazendo essa reportagem”, diz. “As florestas estariam interligadas, teríamos um monte de animais ainda [realizando a dispersão de pólen e sementes] e as árvores crescendo fortes e saudáveis”, lamenta o pesquisador.

Os estudos de variedade genética de Moraes e Sebbenn servem de alerta para a plantação de novos corredores e trampolins. “Não adianta coletar milhares de sementes em uma árvore na estrada, fazer mudas e plantar em uma área”, lembra Moraes. Isso faria com que todo o novo bosque fosse composto de irmãos e meio-irmãos, podendo muito rapidamente sucumbir. “Para fundar uma população de árvores viáveis para o futuro é preciso coletar sementes com o menor grau de parentesco possível”, recomenda Sebbenn.

Pedro Brancalion, engenheiro agrônomo da UFSCar, especialista em ecologia de restauração, defende que os estudos também podem ajudar no “enriquecimento genético”. Ele propõe que sejam plantadas mudas em um fragmento vindas de sementes de outros, simulando o que acontecia quando a mata era contínua, dando assim um novo “fôlego genético” às populações.

Se a primeira coisa que Moraes fez questão de mostrar à reportagem foi o solitário capitão-do-campo na porteira da Fepe, a última é um de seus orgulhos, a mata ciliar da fazenda à margem da represa da usina. Onde havia um arrozal abandonado em 1986, hoje fica uma floresta que até parece nativa. Segundo o agrônomo, essa mata ciliar e seus testes de progênies estão funcionando como corredores entre fragmentos originais da região. “A tecnologia para instalar os corredores existe, falta apenas vontade política.” **UC**



## Sustentabilidade para os produtores rurais

Sempre que faz seu trabalho de conservação genética, Moraes aproveita as plantações dos testes de progênies para testar novas soluções de silvicultura com espécies nativas. O trabalho serve tanto para produtores rurais interessados em investir na silvicultura como atividade principal, quanto para incentivar fazendeiros a reflorestarem as reservas legais e áreas de proteção ambiental. Em 30 anos de Unesp, o agrônomo já experimentou de tudo. Para incentivar o silvicultor brasileiro a apostar em espécies nativas, Moraes demonstrou, por exemplo, como plantar aroeiras e eucaliptos juntos – uma maneira de o produtor lucrar a curto prazo (com o eucalipto), enquanto faz um investimento a longo prazo (esperando a aroeira crescer).

Em outro teste, deixou capim braquiária crescer em volta de árvores de barru. A espécie nativa do Cerrado tem madeira excelente, crescimento rápido e dá castanhas comestíveis. Ela também fixa nitrogênio no solo, enriquecendo-o para a pastagem, enquanto faz uma sombra muito bem vinda pelo gado. Para o reflorestamento, Moraes experimenta o consórcio de duas ou mais espécies nativas que costumam crescer juntas na natureza, como aroeira com paineira, canafístula com copaíba e de gongalo-alves, aroeira e canafístula.

Em 1992, Moraes começou a plantar um dos bosques mais interessantes da Fepe. De início havia apenas mudas de aroeiras, eucalipto e candiúba, uma espécie nativa de crescimento rápido. Quatro anos depois, Moraes cortou o eucalipto e a candiúba, deixando apenas as jovens aroeiras, que cresceram bem retas por conta da competição por luz com as árvores vizinhas. Hoje, além das aroeiras, o bosque está cheio de espécies difíceis de cultivar, como o pequi e a pimenta-de-macaco, que cresceram espontaneamente, aproveitando o ambiente criado pelas aroeiras. Essas espécies só se estabeleceram ali por causa de animais que usaram a mata ciliar e os testes de progênies como corredores.