

Impacto Ambiental de Florestas de Eucalipto

MARCOS H. F. VITAL*

RESUMO As questões ambientais ganham importância cada vez maior para a sustentabilidade do desenvolvimento socioeconômico das nações. O presente artigo apresenta questões relativas aos impactos ambientais de florestas de eucalipto: sobre a água, o solo, a biodiversidade e a atmosfera. Apresenta-se sob a forma de análise de diversos artigos científico-acadêmicos acerca desses diferentes temas, expondo os possíveis impactos oriundos da silvicultura com espécies exóticas. A conclusão é: assertivas generalistas devem ser recebidas com ressalva, dado que, de acordo com as análises elaboradas, os impactos ambientais das florestas de eucalipto dependem, fundamentalmente, das condições prévias ao plantio – i) bioma de inserção; ii) densidade pluviométrica; iii) tipo de solo; iv) declividade dos solos, v) distância das bacias hidrográficas – e das técnicas agrícolas empregadas (densidade do plantio, métodos de colheita, presença ou não de corredores biológicos e atividades consorciadas).

ABSTRACT Nowadays, environmental issues are of paramount importance, in line with economic sustainability. The present article presents issues related to environmental impacts of eucalyptus plantations on: water basins, soil conditions, biodiversity and the atmosphere. The main conclusion is that generalizations should be avoided, once the environmental impacts of eucalyptus plantations will vary according to the previous conditions of each site, as such: i) vegetation coverage, ii) average rain falls, iii) soil properties, iv) soil steepness, v) distance to river basins, and the employed agricultural techniques (density of the plantation, methods of harvest, presence of biological corridors and joint cultures).

* Economista do BNDES.

1. Introdução – O Setor Florestal Brasileiro e o Eucalipto

Apresentação

As plantações florestais de eucalipto têm estado no meio de grandes controvérsias e continuam a despertar acalorados debates quanto a seus impactos no meio ambiente. *De modo geral, criticam-se os efeitos sobre o solo (empobrecimento e erosão), a água (impacto sobre a umidade do solo, os aquíferos e lençóis freáticos) e a baixa biodiversidade observada em monoculturas.*

Entretanto, deve-se notar que, atualmente, as plantações de eucalipto estão presentes nas mais diversas regiões do mundo, localizadas em diferentes altitudes, diferentes tipos de solo, sob diferentes regimes pluviométricos. Por isso, *generalizações abstratas sobre o tema (tais como “O eucalipto seca o solo”)* devem ser recebidas com ressalva ou, preferencialmente, substituídas por *assertivas técnicas contextualizadas* (tais como “Em regiões onde o volume pluviométrico é inferior a 400 mm/ano, as plantações de eucalipto podem levar ao ressecamento do solo” ou ainda “Em regiões onde o solo prévio à plantação já estava degradado ou possuía baixos níveis de fertilidade, as plantações de eucalipto podem elevar a quantidade de húmus na terra, melhorando as condições de fertilidade do solo”).

Parece, de fato, que as controvérsias e debates giram mais em torno de questões sociopolíticas e econômicas do que, propriamente, *do âmbito acadêmico e científico, em que os estudos, de forma geral, não apresentam discrepâncias significativas.* Ao contrário, muitos estudos científicos sobre os temas relacionados ao eucalipto e o meio ambiente costumam apontar na mesma direção, sinalizando mais consenso do que discussão.

Como será visto neste trabalho, a atividade silvicultural, assim como outras atividades econômicas (industrial, agrária, pastoril etc.), pode causar impactos ambientais, tanto positivos quanto negativos, sendo que nenhum deles é inexorável, ou seja, podem ou não estar presentes de acordo com uma série de circunstâncias, tais como:

1) *As condições prévias ao plantio*

De fato, plantios desenvolvidos em áreas degradadas, com solos de baixa fertilidade, na presença de erosão ou em áreas de pastagens, por exemplo, geram impactos *positivos* sobre diversas variáveis ambientais, a saber: elevação da fertilidade do solo (oriunda da queda das folhas, matéria orgânica, sobre o solo), redução do processo erosivo e aumento da biodiversidade (existem mais espécies de flora e fauna em florestas de eucalipto do que em pastagens ou em monocultivos de cana-de-açúcar ou soja, por exemplo).

2) *O regime hídrico da região*

De acordo com os artigos analisados, apenas em regiões de pouca chuva, abaixo de uma faixa de 400 mm/ano, o eucalipto poderia acarretar ressecamento do solo. Ou seja, os impactos sobre lençóis freáticos, pequenos cursos d'água e bacias hidrográficas dependem da região em que se insere a plantação (e também da distância entre as plantações e a bacia hidrográfica e da profundidade do lençol freático).

3) *O bioma de inserção da atividade silvicultural*

Os impactos sobre a biodiversidade local também dependem do bioma e da condição prévia da região onde a floresta será implantada. Implantadas em áreas de florestas nativas, como as de mata atlântica, as plantações acarretam redução da biodiversidade. Implantada, por outro lado, numa região de savana, ou mesmo numa região que anteriormente era coberta com mata atlântica, mas que foi desmatada, a floresta exótica acarreta aumento da biodiversidade da flora e fauna locais.

4) *As técnicas de manejo empregadas*

Diferentes técnicas de manejo podem acarretar impactos bastante distintos. Se no momento da colheita, por exemplo, galhos, folhas e cascas são deixados no local, parte dos nutrientes retirados pela árvore é devolvida ao solo. A manutenção dessa matéria orgânica auxilia também na redução do processo erosivo.

Atualmente, devido ao conhecimento técnico acumulado, as empresas do setor florestal desenvolvem plantações sob a forma de mosaicos, intercalando faixas de florestas nativas com as plantações (conhecidas por “corredores ecológicos” ou, ainda, por “corredores biológicos”). Essas plantações em mosaico permitem a interligação entre o *habitat* natural e a floresta plantada e constituem um corredor entre fragmentos de floresta

natural, permitindo a passagem de animais e ampliando, assim, o *habitat* disponível à fauna local.

5) *A integração da população local*

A atividade silvicultural com eucaliptos não exclui do sítio onde é realizada a possibilidade de outras formas consorciadas de produção.

Com maior espaçamento entre as árvores, empresas brasileiras do setor têm mostrado ser possível não só o cultivo de diferentes grãos (milho, girassol e culturas de subsistência) nos primeiros anos de plantio, mas também a criação de gado (de corte e leite) em meio às plantações, quando as árvores já estão mais crescidas. Isso amplia o espectro de alcance econômico das plantações, aumentando o número de produtos obtíveis a partir da floresta (assim como o número de empregos gerados) e possibilita melhor aproveitamento do solo.

O presente estudo revê parte da literatura acerca do tema, apresentando argumentos, bem como resultados de experimentos sobre as diferentes áreas relacionadas ao assunto. Ao final, são apresentadas questões relacionadas à *captação/sequestro de carbono* pelas florestas e as perspectivas que o novo mercado de créditos de carbono pode trazer para o setor de produtos florestais.

O Setor Florestal Brasileiro

O setor florestal brasileiro contribui com uma parcela importante para a economia nacional, pois gera produtos para consumo interno ou para exportação, impostos e empregos para a população e ainda, muitas vezes, atua na conservação e na preservação dos recursos naturais.¹ Os produtos de base florestal representam 2,6% do produto interno bruto (PIB) brasileiro.

*Em 2006, foram produzidas 11,2 milhões de toneladas de celulose e 8,7 milhões de toneladas de papel, representando crescimento de 8,0% e 1,5%, respectivamente, com relação ao ano anterior. Nesse mesmo ano, o setor exportou US\$ 4 bilhões (representando 17% de aumento em relação ao ano anterior), empregando mais de 6,5 milhões de pessoas direta e indiretamente.*²

¹ De acordo com a classificação do Programa Nacional de Florestas (PNF), do Ministério do Meio Ambiente, oito cadeias produtivas exploram o patrimônio florestal: chapas e compensados; óleos e resinas; fármacos; cosméticos; alimentos; carvão, lenha e energia; papel e celulose; madeira e móveis.

² Com esses níveis de produção, o Brasil alcançou, em 2007, a sexta posição no ranking de produtores mundiais.

Dos 8,5 milhões de quilômetros quadrados do território brasileiro, aproximadamente 63,7% são cobertos por florestas nativas, 23,2% são ocupados por pastagens, 6,8% por agricultura, 4,8% pelas redes de infra-estrutura e áreas urbanas, 0,9% por culturas permanentes e apenas 0,6% abrigam florestas plantadas [Abraf (2006)].

TABELA 1
Áreas de Florestas Nativas e Plantadas

PAÍS	ÁREA TOTAL	TOTAL DE FLORESTAS	% DE FLORESTAS	ÁREA DE FLORESTA NATIVA	ÁREA DE FLORESTA PLANTADA	% DE ÁREA PLANTADA
Rússia	1.688.851	851.392	50,4	834.052	17.340	2,0
Brasil	845.651	543.905	64,3	538.923	5.449	1,0
Canadá	922.097	244.571	26,5	238.059	6.511	2,7
EUA	915.895	225.933	24,7	209.695	16.238	7,2
China	932.743	163.480	17,5	118.397	45.083	27,6
Índia	297.319	64.113	21,6	31.535	32.578	50,8
Japão	37.652	24.081	64,0	13.399	10.682	44,4
Finlândia	30.459	21.935	72,0	18.842	3.093	14,1
Chile	74.881	15.536	20,7	13.519	2.017	13,0
Nova Zelândia	26.799	7.96	29,7	6.404	1.542	19,4
Outros	7.291.553	1.706.563	23,4	1.659.543	47.019	2,8
Total	13.063.900	3.869.455	29,6	3.682.369	187.552	5,1

Fonte: Ipef.

De acordo com o Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (Ipef), o Brasil possuía, em 2006, 5,5 milhões de hectares de florestas plantadas, dos quais 3,5 milhões plantados com eucaliptos (64% do total de florestas plantadas no país).³

Segundo a Associação Brasileira de Celulose e Papel (Bracelpa), em 2006, 61% das terras reflorestadas para uso industrial pelo setor de papel e celulose estavam concentradas em quatro estados brasileiros: Bahia (340 mil hectares), São Paulo (384 mil hectares), Minas Gerais (176 mil hectares) e Espírito Santo (130 mil hectares).⁴ Notadamente, tais regiões concentram as indústrias nacionais à base de madeira: celulose (presente em todos os estados mencionados), papel (mais concentrada no Estado de São Paulo),

3 De acordo com o anuário estatístico da Abraf, o Brasil possuía, em 2005, 5,2 milhões de ha plantados com florestas (3,4 milhões com eucalipto e 1,8 milhão com pinus).

4 Observa-se recente desconcentração das plantações. Em 2004, por exemplo, estes quatro estados detinham 72 % das florestas plantadas para uso pela indústria de celulose e papel.

siderurgia (“guseiros” de Minas Gerais e do Pará), sólidos de madeira e moveleira (presente no Sul e no Triângulo Mineiro, entre outros estados).

O Eucalipto

Eucalipto (do grego, *eu* + *καλύπτω* = “*verdadeira cobertura*”) é a designação vulgar das várias espécies vegetais do gênero *Eucalyptus*, pertencente à família das mirtáceas, que compreende outros 130 gêneros.

O plantio sistemático de eucalipto foi iniciado nas três primeiras décadas do século XIX e disseminou-se como a espécie florestal mais plantada do mundo, ao longo do século seguinte. No Brasil, a cultura de eucalipto teve início nos primeiros anos do século XX, apesar de sua introdução inicial datar do século anterior, quando a planta era utilizada como quebra-ventos, para fins ornamentais, e na extração de óleo vegetal. No fim da década de 1930, o eucalipto já era plantado em escala comercial, sendo utilizado como dormentes para construção (de casas e estradas de ferro) e combustível (para siderurgia e fornos domésticos).

Atualmente, existem mais de 700 espécies de eucalipto catalogadas, sendo *Eucalyptus saligna*, *E. grandis*⁵ e *E. urophila* (e seu híbrido, o *E. urograndis*) as mais cultivadas no país.⁶

Com a crescente monocultura do eucalipto, inevitavelmente, surgiram as críticas e discussões acerca de seus efeitos (benéficos e deletérios) sobre a água, o ar, o solo, a biodiversidade, ou seja, o meio ambiente. A partir da década de 1970, então, começaram a surgir *estudos, teses de mestrado e doutorado*, visando elucidar a questão. Assim, acumularam-se informações e resultados experimentais sobre indicadores de impactos ambientais (consumo de água, acúmulo e ciclagem de nutrientes em diferentes compartimentos das árvores, incidência de avifauna, mastofauna, herptofauna e flora em diferentes fragmentos vegetais, quantificação de estoque de carbono em florestas, eficiência na utilização da luz solar, entre outros), o que permitiu uma avaliação mais consistente sobre o assunto.

5 O *E. grandis* é originário da Austrália, possui altura de 44 a 55 metros e DAP (diâmetro à altura do peito) de 122 cm. Isso perfaz um intervalo de volume de 198 m³ a 542 m³, dependendo da combinação de altura e diâmetro apresentada pela árvore.

6 De acordo com Eldridge (1993), o ranking das dez espécies mais importantes de eucalipto, em termos do incremento anual na oferta de madeira, são: *E. grandis*, *E. camadulensis*, *E. tereticornis*, *E. globulus*, *E. urophulla*, *E. viminalis*, *E. saligna*, *E. deglupta*, *E. exserta* e *E. critriodora*.

Tendo em vista essas considerações iniciais, é possível prosseguir analisando o efeito das plantações de eucalipto sobre as quatro variáveis supracitadas: a água, o solo, a biodiversidade e o ar.

2. O Eucalipto e a Água

Basicamente, o eucalipto necessita captar CO_2 e O_2 do ar, para realizar, respectivamente, duas importantes atividades metabólicas: a **fotossíntese** e a **respiração**, sendo que a fotossíntese necessita, ainda, da água retirada do solo. Nos vegetais, a água tem três funções principais: participar na reação da fotossíntese, ser transpirada pelas aberturas dos estômatos⁷ no processo de respiração e ser veículo para transporte (como seiva).⁸ Em conjunto, essas atividades metabólicas alimentam um ciclo completo da água que, após precipitar-se sobre o solo, é sugada pelas raízes, evaporada de volta para a atmosfera, precipitando-se novamente sobre o solo.

Uma das freqüentes críticas endereçadas ao eucalipto refere-se ao consumo de água pelas árvores e seus impactos sobre a umidade do solo, os rios e os lençóis freáticos.

As considerações a seguir têm por objetivo responder duas questões: em primeiro lugar, o eucalipto consome mais água para seu crescimento do que outras formas de cultivo?; em segundo lugar, as florestas de eucalipto podem influenciar aspectos hidrológicos e/ou climáticos (volume de precipitação, água contida no solo, lençóis freáticos,⁹ nascentes) do ambiente em que se inserem?

Poore & Fries (1985) afirmam que, quanto mais rápido o crescimento de uma árvore, maior seu consumo de água. Estima-se que a faixa de evapo-

7 São organelas presentes na epiderme inferior das folhas, responsáveis pela troca de gases entre a planta e a atmosfera. Como os estômatos precisam ficar abertos para que a planta possa captar O_2 e CO_2 da atmosfera, observa-se muita perda de água através deles, denominada "transpiração florestal".

8 Enquanto, na fotossíntese, seres autotróficos (seres que produzem seu próprio alimento) transformam energia luminosa em energia química, processando dióxido de carbono (CO_2), água (H_2O) e minerais e transformando-os em glicoses (produzindo, como resultado, oxigênio gasoso (O_2)), na respiração, os organismos utilizam O_2 (para oxidar açúcares e ácidos orgânicos, gerando, assim, energia), lançando, como resíduo, CO_2 e água de volta à atmosfera.

9 Os reservatórios de águas subterrâneas são chamados de lençóis. Essas águas podem estar acumuladas em dois tipos de lençóis: o freático ou o cativo. O lençol freático caracteriza-se por estar assentado numa camada impermeável de subsolo (rochas, por exemplo) e submetido à pressão atmosférica local. O lençol cativo caracteriza-se por estar confinado entre duas camadas impermeáveis de crosta terrestre e submetido a uma pressão superior à pressão atmosférica local.

transpiração¹⁰ de uma plantação de eucalipto seja equivalente a precipitações pluviométricas ao redor de 800 a 1.200 mm/ano [Foelkel (2005)].¹¹ Lima (1990) apresenta resultados experimentais semelhantes a esse (perda de água do solo em plantações de *Eucalyptus globulus* ao redor de 750 mm/ano – estimado pelo método de avaliação do balanço hídrico do solo).¹²

Esse consumo de água, entretanto, não significa que o eucalipto, necessariamente, seca o solo da região onde se insere ou, tampouco, impacta, negativamente, os lençóis freáticos. Isso porque *o ressecamento do solo em florestas de eucalipto depende não somente do consumo de água pelas plantas, mas também da precipitação pluviométrica da região de cultivo*. Davidson (1993), entre outros estudos, aponta que, somente em áreas de precipitação pluviométrica inferior a 400 mm/ano, o eucalipto pode acarretar ressecamento do solo – ao utilizar as reservas de água nele contidas (podendo, nesse caso, prejudicar também o crescimento de outras espécies – fruto da denominada “alelopatia”¹³). Em regiões de maior volume pluviométrico, portanto, as plantações de eucalipto, por receberem mais água do que aquilo que consomem, não levariam ao ressecamento do solo.

Silva (2004) avaliou os *índices de consumo e a eficiência do uso da água* em mudas de *Eucalyptus citriodora* e *E. grandis*, cultivadas em solo com três teores distintos de água, associadas ou não com *Brachiaria brizantha*.^{14,15} O estudo mostra que o eucalipto tem diversos mecanismos biológicos que economizam água, tais como a presença de tecido foliar coriá-

10 *Evapotranspiração consiste na soma da evaporação do solo e das folhas com a transpiração das folhas. É uma medida da quantidade de água ‘utilizada’ e depois devolvida à atmosfera. A evapotranspiração depende do clima, do solo, da disponibilidade de água e da espécie plantada.*

11 *De fato, os estudos mostram que o eucalipto sobrevive mesmo em regiões de média e baixa densidades pluviométricas. Ao aumentar o teor de água no solo, entretanto, observa-se também elevação dos níveis de consumo de água e evapotranspiração. Edraki e Kowsar (2006) estimou a evapotranspiração máxima, numa região do Irã, ao redor de 800 mm.*

12 *Por exemplo, se é observada precipitação de 1.200 mm numa região e 200 mm evaporaram-se pela irradiação solar, mas a quantidade de água encontrada no solo é referente somente a 600 mm de chuva, infere-se que os outros 400 mm foram utilizados pelo eucalipto e depois parcialmente devolvidos para a atmosfera.*

13 *O impacto de uma espécie sobre outra, oriundo de substâncias químicas produzidas por algumas espécies.*

14 *Muitas vezes, as plantações de eucalipto situam-se em região de cerrado, com baixa fertilidade do solo e déficit hídrico por alguns períodos do ano. A comparação de eucalipto com braquiária é análoga à comparação entre o eucalipto e os ambientes de pastagens (em sua maioria cobertos com braquiária).*

15 *Todas as espécies de braquiária introduzidas escapam ao cultivo, invadem áreas cultivadas e competem com espécies nativas. As mais agressivas são B. brizantha, B. decumbens, B. humidicola e B. mutica. As duas últimas freqüentemente invadem córregos e riachos, chegando a eliminar totalmente a flora nativa ribeirinha.*

ceo,¹⁶ alinhamento vertical das folhas, fechamento rápido dos estômatos, baixas taxas de transpiração e elevada razão raiz/parte aérea.

O impacto sobre os lençóis freáticos, de acordo com o Ipef, dependerá da localização das plantações em relação à bacia hidrográfica. Se as plantações estão situadas em locais de maior altitude, as raízes dos eucaliptos, por não ultrapassarem 2,5 m, não alcançariam os lençóis subterrâneos. Se, entretanto, as florestas forem plantadas perto das bacias hidrográficas, os eucaliptos passam a consumir mais água, crescem mais rapidamente e podem gerar impactos sobre os lençóis freáticos tanto localmente como a jusante.¹⁷ A literatura mostra também que a profundidade dos lençóis freáticos varia em função das características do solo, bem como das características hídricas de cada região, de tal sorte que o impacto das plantações de eucalipto sobre os lençóis d'água deve ser analisado caso a caso.¹⁸

O Eucalipto e o Ciclo da Água – Hidrologia Florestal

Antes de prosseguir com os resultados de estudos sobre o consumo de água pelo eucalipto *vis-à-vis* outras espécies, é necessário entender melhor a dinâmica do ciclo da água (hidrologia florestal),¹⁹ sua interação com as plantas, o solo e a atmosfera.

O ciclo da água numa floresta é bastante complexo.²⁰ Quando uma dada quantidade de água (A) cai sobre uma área de floresta, certa quantidade (B) cai diretamente no solo, enquanto outra parte (C) é interceptada pela copa da árvore. Dessa parte, uma fração (D) evapora, retornando à atmosfera, enquanto outra fração (E) atinge o solo após escorrer pelo tronco. Da parcela que chega ao solo, parte (F) escorre pelo solo, causando a erosão, enquanto outra parte (G) se infiltra no solo. Da parcela que se infiltra no solo, parte permanece a alguns metros da superfície (I) e parte (H) alcança o lençol freático (K). Existe ainda uma parte (L) que é evaporada pelas folhas, no processo de transpiração florestal, após ser utilizada pela planta, retornando à atmosfera [Poore e Fries (1985)].

¹⁶ De aspecto semelhante ao couro.

¹⁷ O Código Florestal Brasileiro, de 1965, também conhecido como “Novo Código Florestal”, prevê que as margens dos rios são áreas de preservação permanente (APP).

¹⁸ De fato, é possível encontrar lençóis freáticos localizados bem superficialmente. Em solos arenosos de baixa fertilidade (espodossolos), por exemplo, os lençóis podem ser encontrados a apenas 45 cm da superfície.

¹⁹ Hidrologia florestal trata do movimento da água em ambientes de florestas [Almeida e Soares (2003)].

²⁰ O modelo a seguir adota a apresentação de Poore e Fries (1985).

Entre os diversos fatores apontados, o único que independe da fisiologia da planta e do solo é o volume de precipitação pluviométrica (A).

De acordo com os autores, as florestas de eucalipto podem ter impactos sobre:

Clima – (A), (D), (L);

Microclima – (B), (C), (G);

Erosão – (F);

Composição do solo – (H), (I);

Lençol freático – (K).

Poore e Fries (1985) terminam com as seguintes conclusões:

Clima – Os efeitos do eucalipto sobre o clima não diferem substancialmente dos efeitos de qualquer outro tipo de cobertura florestal. Em tese, se o eucalipto é plantado onde anteriormente havia solo descoberto, ele irá alterar o grau de reflexibilidade do solo, bem como a velocidade do vento, ocasionando aumento da umidade e queda de temperatura. Nesse sentido, pode-se dizer que a plantação de eucalipto teria algum impacto sobre o clima. O autor afirma, entretanto, que não existem evidências empíricas nem conclusões evidentes sobre o efeito do eucalipto sobre o clima onde se inserem as plantações.

Microclima²¹ – Se o impacto sobre o clima pode ser negligenciável, já o impacto sobre o microclima local é mais perceptível. De modo geral, as florestas de eucalipto geram um microclima composto por: elevada umidade, pouca luz solar, temperaturas mais baixas e moderação dos picos de temperatura.

Existem pequenas diferenças entre o microclima presente em florestas de eucaliptos e outros tipos de florestas.

²¹ Uma zona que experimenta o fenômeno do microclima tem um clima diferente da região que a cerca. É relativamente comum em grandes áreas urbanizadas, bem como em grandes plantações. No caso das áreas urbanas, a reflexibilidade do concreto e sua capacidade de absorver e reter calor fazem com que as temperaturas sejam até 6 graus Celsius acima da temperatura de bairros periféricos, mais arborizados. Já em florestas, além da maior umidade, observa-se redução de até 5 graus Celsius.

Interceptação de água – Em qualquer floresta, a interceptação de água da chuva consiste em importante perda ao longo do ciclo da água. Isso ocorre por causa da quantidade de água que deixa de atingir o solo. De forma geral, as florestas de eucalipto interceptam de 11% a 20% da precipitação pluviométrica da área onde se insere. Esse volume é menor do que o do pínus e da mata atlântica, por exemplo, sendo, porém, bem maior do que o de vegetações rasteiras.

Água escorrida pelo solo – A pouca evidência existente sobre o assunto aponta para o fato de existir maior escoamento de água em florestas de eucalipto do que em outros tipos de cultivo. Fruto do menor índice de área foliar (IAF)²² e, portanto, da menor interceptação pela copa, esse fato tenderia a contribuir para a maior erosão do solo.

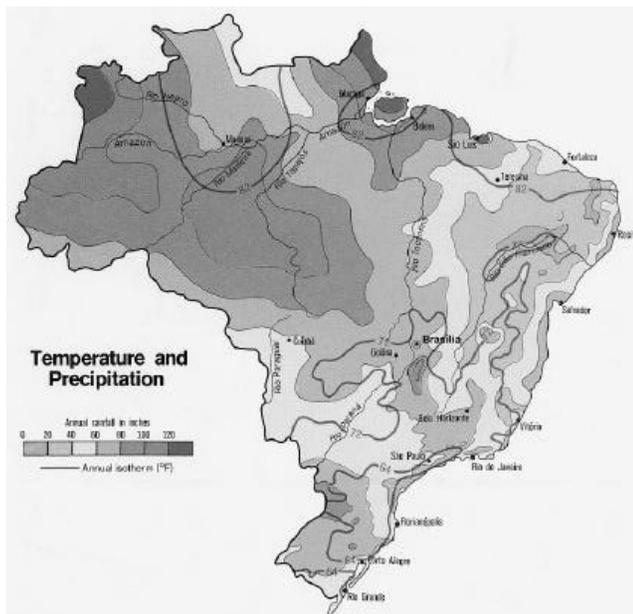
O equilíbrio hídrico em ambientes de floresta depende do volume pluviométrico e da evapotranspiração. Quando as chuvas superam a quantidade de água evapotranspirada pela floresta, observam-se elevação da umidade do solo e variações na vazão dos rios. Se, por outro lado, a água consumida pela floresta (evapotranspiração) for maior do que o volume de chuvas, isso significa que a floresta está “se alimentando” das reservas de água contidas no solo. *Por isso, o clima da região onde está inserida a floresta é fundamental na avaliação dos impactos sobre os recursos hídricos.* Na realidade, o volume de água evapotranspirado pelas florestas de eucalipto é menor do que o volume de precipitação pluviométrica da maioria das regiões brasileiras onde são plantadas.²³ Como visto, no Brasil, as principais plantações situam-se em Minas Gerais, São Paulo, Bahia, Espírito Santo e no Pampa Gaúcho. Na Figura 1, pode ser visto o mapa pluviométrico do Brasil.

De modo geral, as plantações brasileiras de eucalipto situam-se em áreas de volume pluviométrico acima de 1.000 mm/ano. Dessa forma, mesmo com grande volume de água consumido pelas plantações, não é esperado que ocorra déficit hídrico nestas regiões.

22 Esse índice consiste no quociente cujo numerador é a área de folhas e o denominador é a área superficial de solo. Costuma ser expresso em m^2 de folha/ m^2 de solo. De acordo com Foelkel (2005), o IAF dos eucaliptos varia de 2 a 4,5.

23 O volume de precipitação pluviométrica anual brasileira médio varia entre 1.000 mm e 1.500 mm, atingindo 3.000 mm em regiões da Amazônia.

FIGURA 1
Mapa Pluviométrico do Brasil



Fonte: CIA (Central Intelligence Agency).
 Nota: 100 inches = 2.540 mm.

Uso da Água em Plantações de Eucalipto *Vis-à-Vis* o Uso da Água em Florestas de Mata Atlântica (Ombrófila Densa)

Almeida e Soares (2003) apresentam estudo comparativo entre a dinâmica da água em florestas de eucalipto e em florestas de ombrófila densa (mata atlântica). Foram realizadas medições específicas de componentes do ciclo de água no sistema solo-planta-atmosfera ao longo de sete anos (1995 a 2001).²⁴

Os principais resultados obtidos são discutidos a seguir.

²⁴ Na avaliação comparativa, são contrastadas: 1) a interceptação de água pela copa das árvores; 2) a água disponível no solo (medida através de equipamento denominado "sonda de nêutrons"; e 3) a relação evapotranspiração/precipitação.

Do total de chuvas sobre a mata atlântica, cerca de 24% foram interceptados pelas folhas e evaporaram-se de volta para a atmosfera, enquanto esse valor foi próximo de 11% da precipitação, em florestas de eucalipto. Isso ocorre porque o índice de área foliar da mata atlântica é o dobro do observado em florestas de eucalipto. Isso significa que, em florestas de eucalipto, mais água de chuva alcança o solo, acarretando, por sua vez, *outros dois efeitos*: por um lado, mais água de chuva pode estar disponível nas reservas do solo, bem como maior volume de água atingirá os lençóis freáticos; por outro lado, mais água de chuva escorrerá sobre o solo, aumentando a erosão, como discutido mais adiante.

Durante 29 meses, entre novembro de 1999 e março de 2002, mediu-se a variação dos estoques de água disponível no solo até 2,5 m de profundidade. Observou-se que, em geral, as variações dos estoques de água nos dois ecossistemas seguem não apenas tendências muito semelhantes, como também indicam taxas de retirada de água do sistema radicular praticamente iguais em períodos de grande disponibilidade hídrica e energética. De acordo com os autores, fica claro que os dois ecossistemas têm taxas de transpiração muito próximas. Nos períodos de seca, entretanto, percebe-se que a quantidade de água no solo, em florestas de eucalipto, é menor do que em florestas de mata atlântica. Ainda segundo os autores, isso ocorre porque as raízes das árvores de mata atlântica atingem profundidades até 5 m, enquanto as raízes do eucalipto não passam de 2,5 m. Dessa forma, a mata atlântica busca águas mais profundas do que o eucalipto, acarretando menor ressecamento do solo superficial, ao nível de 2,5 m.

O estudo observa, ainda, que nas fases iniciais de crescimento, em virtude do reduzido tamanho das plantas, as plantações podem consumir menos água do que a floresta madura de mata atlântica.

De acordo com os autores, o estudo permite concluir ainda que as plantações de eucalipto (*E. Grandis*) exercem controle estomático eficiente em condições de baixa disponibilidade de água no solo.²⁵

Em síntese, os autores afirmam que o regime hídrico sob plantações de eucalipto não difere sistematicamente do regime hídrico em áreas de mata atlântica, exceto em períodos de maior seca, quando o eucalipto utiliza mais

²⁵ Vale dizer, em momentos de déficit hídrico, a planta fecha os estômatos, reduzindo, dessa forma, a perda de água por transpiração. Deve-se notar que, neste caso, a planta reduz também as atividades fotossintéticas, diminuindo a formação de biomassa.

reservas de água do solo em nível superficial, enquanto a mata atlântica utiliza reservatórios subterrâneos localizados em níveis mais profundos.

Uso de Água em Florestas de Eucalipto *Vis-à-Vis* Outras Culturas

Importa não somente ter uma noção da quantidade absoluta de água consumida pelas plantações de eucalipto, mas também dois outros aspectos: 1) se o consumo anual de água pela floresta é maior do que o consumo anual de outras formas de cultivo; e 2) a eficiência na utilização dessa água, isto é, a quantidade de biomassa²⁶ gerada por quantidade de água consumida. A Tabela 2 ilustra a primeira questão. No tocante à eficiência no consumo de água, os estudos mostram que o eucalipto não difere sistematicamente das demais culturas. De fato, quando se compara a geração de biomassa por litro de água utilizado, constata-se que o eucalipto é um dos mais eficientes produtores de biomassa, como será visto adiante.

Eficiência na Produção de Biomassa

O Ipef apresenta estudo acerca do consumo de água por diferentes plantas, cujos resultados são mostrados na Tabela 2.

TABELA 2

Consumo de Água por Diferentes Culturas

CULTURA	CONSUMO DE ÁGUA/ANO (mm)
Cana-de-Açúcar	100-2.000
Café	800-1.200
Citrus	600-1.200
Milho	400-800
Feijão	300-600
Eucalipto	800-1.200

Fonte: Ipef.

Se, por um lado, o consumo absoluto de água pelo eucalipto encontra-se, de fato, entre os mais altos²⁷ – pelo seu rápido crescimento –, já o consumo relativo dessa água, isto é, o número de litros de água utilizados para a

²⁶ Biomassa é toda e qualquer matéria orgânica formada pela planta.

²⁷ Vale notar que, apesar de elevado, o consumo de água pelo eucalipto não difere de outras culturas nacionais.

formação de 1 kg de biomassa, figura entre os menores, mostrando que a espécie é bastante eficiente na produção de biomassa (ver Tabelas 2 e 3).

O instituto apresenta também informações acerca da eficiência no uso da água por diferentes culturas, mostradas na Tabela 3.

TABELA 3

Eficiência no Uso da Água

CULTURA	EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA (l/kg)
Batata	2.000
Milho	1.000
Cana-de-Açúcar	500
Cerrado	2.500
Eucalipto	350

Fonte: *Ipef*.

Essa eficiência na produção de biomassa faz com que o eucalipto cresça rapidamente, conferindo avançado grau de competitividade para a indústria nacional de celulose e papel.

3. O Eucalipto e o Solo

Outra crítica freqüentemente endereçada ao eucalipto diz respeito ao empobrecimento do solo das regiões onde ele é plantado.

De acordo com Palmberg (2002), a remoção de nutrientes do solo em plantações de eucalipto depende: (1) *das técnicas de manejo das plantações;* e (2) *dos métodos de colheita.*²⁸ De acordo com o autor, o consumo de nutrientes por árvores de eucalipto – analisado adiante – não é maior do que o consumo de outras culturas agrícolas.²⁹

Ocorre, entretanto, a retirada de nutrientes do ecossistema, contidos nas diferentes partes da planta, nos momentos de colheita, quando parte da biomassa produzida é retirada da floresta.³⁰ Esse efeito pode ser bastante minimizado no momento em que raízes, folhas e a casca da árvore são dei-

²⁸ Como será visto adiante, se na colheita toda a árvore é retirada, sem que se deixem folhas, galhos e cascas, a extração de nutrientes do solo é maior:

²⁹ Também relatado por Davidson (1985).

³⁰ Estima-se que algo em torno de 60% a 75% da biomassa total do eucalipto esteja contida nos troncos, sendo o restante distribuído entre folhas, cascas, galhos e raízes.

xadas sobre o solo. A deposição desses resíduos, denominada serapilheira, devolve ao solo grande parte dos nutrientes contidos na árvore. Estima-se que, para cada tonelada de madeira gerada, seja produzido, como resíduo, 0,3 a 0,35 tonelada de serapilheira.

Outros autores afirmam ainda que, por causa da rotação de sete anos (mais longa, portanto, do que outras formas de cultivo), a retirada de nutriente por unidade de tempo é menor em plantações de eucalipto do que em outras formas de cultivo agrícolas.

A maioria dos autores segue a linha de raciocínio de que *o impacto ambiental das florestas plantadas sobre o solo também depende do bioma em que está inserida, ou seja, das condições do solo prévias à implantação das plantações*. Bouvet (1999), por exemplo, retrata que, quando plantado em áreas degradadas ou de savana, é possível observar substancial elevação da quantidade de húmus na terra.

As questões relativas à erosão do solo e à conseqüente perda de nutrientes são também tratadas adiante.

Nutrientes

As florestas consomem, para seu crescimento, além do CO₂ atmosférico, alguns elementos químicos, normalmente denominados *nutrientes*, contidos no solo, tais como potássio, cálcio, magnésio, nitrogênio e fósforo. Esses nutrientes, após serem absorvidos pelas raízes,³¹ são incorporados às diferentes partes da árvore (folhas, cascas, lenho e ramos). A distribuição de biomassa numa árvore de eucalipto aos sete anos de idade é apresentada na Tabela 4.

TABELA 4

Distribuição da Biomassa por Compartimentos da Planta

(Tonelada Seca/ha) %

COMPARTIMENTO	DISTRIBUIÇÃO
Raízes	12-18
Casca	8-12
Copas	6-10
Madeira de Tronco	60-74

Fonte: Foelkel (2005).

³¹ A extração de nutrientes ocorre por osmose, transferindo nutrientes do compartimento onde ele está mais concentrado (solo) para o compartimento de menor concentração (raiz).

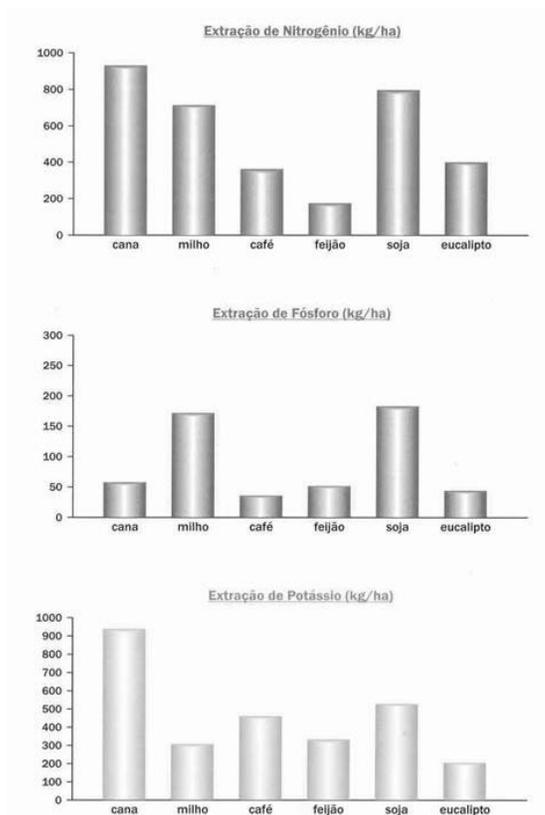
Dessa forma, a quantidade de nutrientes encontrada nas diferentes partes da árvore é também uma medida da quantidade de nutrientes que deve ser devolvida ao ecossistema para manter a composição do solo inalterada (uma vez que os nutrientes contidos nas partes das árvores foram retirados do solo).

Consumo de Nutrientes por Diferentes Espécies Vegetais

Uma análise comparativa do consumo de nutrientes por diferentes espécies pode ser vista na Figura 2, com base em dados do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

FIGURA 2

Necessidade de Nutrientes de Várias Culturas Durante Oito Anos



Fonte: Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa (MG).

Davidson (1995) afirma ainda que, em termos gerais, os eucaliptos consomem menos nutrientes por quantidade de madeira produzida do que outras culturas agrícolas, sendo, portanto, eficientes também no consumo de nutrientes.

A Ciclagem de Nutrientes

Os ciclos biogeoquímicos em florestas integram os diferentes processos globais de transferência dos elementos químicos que ocorrem na biosfera. Alguns destes elementos químicos (no caso, os nutrientes) circulam na natureza por meio dos ciclos gasoso e geológico. Os compartimentos e/ou sistemas inorgânicos e orgânicos são interligados nesses processos de movimentação. Os organismos fotossintetizantes sintetizam a biomassa a partir de nutrientes inorgânicos (P, Mg, Ca, K, N) dissolvidos, do dióxido de carbono e da captação de energia solar. Essa matéria orgânica é posteriormente consumida pelos animais, formando a base de uma cadeia alimentar. Por sua vez, a matéria orgânica morta de origem vegetal e animal é decomposta e mineralizada por microrganismos, tanto no solo como na água e nos sedimentos, e os nutrientes mineralizados tornam-se novamente disponíveis no ambiente, passíveis, portanto, de serem utilizados novamente na reação de fotossíntese [Campos (1988)].

No processo de ciclagem, ocorre transferência de nutrientes de um compartimento para outro. Os modelos conceituais que envolvem tais processos são, invariavelmente, constituídos por três sistemas: planta, animal e solo.

O balanço dos bioelementos minerais do solo depende das *entradas e das saídas de nutrientes*.

Os nutrientes chegam ao ecossistema pelas seguintes vias:

- intemperismo ou decomposição da rocha-mãe do solo;
- poeira levada pelo vento;
- água de chuva (que leva tanto elementos contidos no ar como elementos contidos nas cascas das árvores e que são levados pela água que escorre);
- fixação de nitrogênio por leguminosas naturais presentes no sub-bosque;
- fixação e disponibilização do fósforo pelas micorrizas;³² e
- adubação.

³² *Micorriza (micorrhizum) constitui uma associação simbiótica entre certos fungos e algumas raízes de plantas, geralmente árvores.*

Por outro lado, observam-se as seguinte saídas de nutrientes:

- exportação com a colheita da madeira;
- escoamento das águas de chuva;
- erosão e perdas de sedimentos (argila e material orgânico em decomposição);
- queimadas.

O Eucalipto e a Ciclagem de Nutrientes

O eucalipto contribui para a ciclagem de nutrientes com a serapilheira, a camada de resíduos orgânicos formada por galhos, folhas e cascas do eucalipto. Sua decomposição leva de um a três anos. Para produzir 1 tonelada de madeira, a floresta deixa no solo cerca de 0,3 a 0,35 tonelada de serapilheira.

A partir de um ou dois anos, caem muitas folhas e galhos finos e, a partir de três a quatro anos, começa a cair também a casca. Estabelece-se, então, o processo de decomposição, liberação e absorção de nutrientes, num completo ciclo biológico.

De acordo com Foelkel (2005), a distribuição de nutrientes nas diferentes partes do eucalipto é apresentada na Tabela 5.

TABELA 5

Acúmulo de Bioelementos em Diferentes Partes do Eucalipto

(Kg/Hectare)

	NITROGÊNIO	POTÁSSIO	CÁLCIO	MAGNÉSIO	FÓSFORO
Folhas	80-200	30-100	25-45	10-20	5-10
Casca	20-40	30-120	150-400	25-45	5-12
Madeira	100-250	150-400	60-250	30-80	10-40
Raízes	25-80	15-35	15-35	15-35	1-4
Galhos	10-30	25-75	30-65	10-20	2-8

Fonte: Foelkel(2005).

A principal extração de nutrientes do ecossistema florestal, principalmente nitrogênio e potássio, ocorre no momento da colheita, através da retirada dos troncos das árvores.³³

Numa simulação, Foelkel (2005) aponta uma composição de nutrientes na serapilheira, que pode ser observada na Tabela 6.

TABELA 6

Composição de Nutrientes na Serapilheira – Simulação

(Em %)

NUTRIENTES	SERAPILHEIRA		
	Folhas	Galhos + Frutos	Casca
N	92,6	4,8	2,6
P	85,9	7,7	6,4
K	75,8	14,0	10,2
Ca	46,0	19,3	34,7
Mg	64,5	20,6	14,9

Fonte: Foelkel (2005).

Como é possível observar, as folhas são as grandes fornecedoras de matéria seca e de nutrientes para a serapilheira.

Segundo Foelkel (2005), estudos têm revelado que as plantas dos eucaliptos retornam para o solo e disponibilizam para a floresta entre 60% a 70% do nitrogênio absorvido do solo, entre 35% a 60% do fósforo, entre 55% a 80% do potássio, entre 40% a 60% do cálcio e 55% a 70% do magnésio.

Por essa razão, as técnicas de colheita – extração somente da madeira do tronco ou extração da madeira do tronco + outras formas de biomassa – são fundamentais no impacto das plantações de eucalipto sobre o solo e determinam, em última análise, o montante de nutrientes exportado da floresta. Atualmente, visando à devolução de nutrientes ao ecossistema, as empresas do setor de papel e celulose têm deixado no local de plantio os dejetos orgânicos da colheita.

Erosão

De acordo com a maioria dos autores estudados, existe pouca ou quase nenhuma evidência experimental comparando níveis de erosão do solo em

³³ O autor lembra que as colheitadeiras podem levar também à compactação do solo, o que aumenta a quantidade de água escorrida, levando à erosão e à conseqüente perda dos nutrientes contidos nas camadas superficiais do solo.

florestas de eucalipto com outros tipos de cultura, mas é possível fazer algumas considerações.

Em primeiro lugar, o nível de erosão do solo num dado ecossistema depende da quantidade de água que chega ao solo, da inclinação do terreno e de características físicas do solo, como porosidade, capacidade de absorver água, da quantidade de resíduos sobre o solo no momento da chuva etc. Dois desses fatores – a quantidade de água que chega ao solo e a quantidade de resíduos no solo – dependem da espécie plantada no local. A quantidade de água que chega ao solo depende de características fisiológicas das folhas (como tamanho e inclinação), bem como a quantidade de resíduos do solo depende da queda natural das folhas e galhos secos.

Mais uma vez, autores utilizam o argumento das condições prévias dos biomas onde se insere a atividade florestal como fator fundamental do impacto ambiental gerado. De acordo com Davidson (1985), ao substituir florestas nativas por florestas plantadas, é de se esperar maior escoamento de água e erosão do solo (uma vez que, como vimos, o índice de área foliar do eucalipto é relativamente pequeno, fazendo com que mais água chegue ao solo). Entretanto, se o eucalipto é plantado em áreas de savana ou de solo degradado, sem nenhuma cobertura vegetal, é de se esperar melhoria na densidade e capacidade de aeração do solo, bem como aumento do húmus.

Chinnamani (1965), em experimento na Índia, encontrou perdas negligenciáveis de solo entre culturas de *Eucalyptus globulus* e *Acacia mollissima*, exceto em momentos imediatamente anteriores ao plantio e posteriores à colheita.

De acordo com alguns autores, a maioria das formas de eucalipto não é adequada para o controle da erosão, sobretudo por gerar insuficientes resíduos orgânicos (folhas e galhos) para cobrir o solo e por interceptar pouca água da chuva. Por outro lado, por gerar barreiras ao vento, o eucalipto reduz a erosão por ele causada. A resultante dessas forças não é bem delimitada pelos estudos atuais.

4. O Eucalipto e a Biodiversidade

Biodiversidade ou **diversidade biológica** (do grego *bios*, vida) é a diversidade da natureza viva. Refere-se à variedade de vida no planeta Terra (ou num dado ecossistema), incluindo a variedade genética dentro das populações e espécies, a variedade de espécies da flora, da fauna, de fungos

macroscópicos e de microrganismos, a variedade de funções ecológicas desempenhadas pelos organismos nos ecossistemas e a variedade de comunidades, *habitats* e ecossistemas formados pelos organismos.³⁴

O efeito das plantações florestais sobre a diversidade biológica depende: 1) do tipo de ecossistema natural primitivo; 2) das espécies arbóreas escolhidas; e 3) das técnicas silviculturais empregadas, segundo Barden (1993).

Quando uma floresta de eucalipto é plantada em área de vegetação natural ou seminatural, isso certamente acarretará algum efeito sobre a fauna e a flora da região. De acordo com os autores, isso pode ocorrer por causa de sombras, competição por água e nutrientes, perturbações no solo, efeitos alelopáticos (efeitos de substâncias químicas do eucalipto sobre outras formas de vegetação)³⁵ ou efeitos cumulativos sobre o solo [Poore & Fries (1985)].

Um ponto ressaltado por diversos autores é o fato de a biodiversidade variar em função do tamanho das plantações.

Vale lembrar que, assim como o impacto sobre a água e o solo depende do bioma e das condições prévias à implantação da floresta, vale o argumento: *se plantadas em áreas degradadas ou áreas anteriormente utilizadas para outros cultivos e pastagens, observar-se-á elevação da biodiversidade de flora e fauna.* Como visto, no nível microbiótico, a deposição da serapilheira sobre o solo dá início a um ciclo de decomposição e transformação bioquímica contínuo. Além disso, o ambiente de floresta, em seu sub-bosque, abriga diversas espécies de pássaros e pequenos mamíferos – como mostrado em alguns estudos – adiante.

Biomass Brasileiros

Antes de prosseguir com o resultado de pesquisas e estudos comparativos de variedade de flora e fauna contida em florestas de eucalipto, é interes-

34 A biodiversidade refere-se tanto ao número (riqueza) de diferentes categorias biológicas quanto à abundância relativa (equitabilidade) dessas categorias. Inclui variabilidade ao nível local (alfa-diversidade), complementariedade biológica entre habitats (betadiversidade) e variabilidade entre paisagens (gamadiversidade). Ela inclui, assim, a totalidade dos recursos vivos, ou biológicos, e dos recursos genéticos, e seus componentes.

35 O termo “alelopatia” foi criado em 1937, pelo pesquisador alemão Hans Molisch, com a reunião das palavras gregas “allélon” e “pathos”, que significam, respectivamente, mútuo e prejuízo. Segundo Molisch, alelopatia é “a capacidade de as plantas, superiores ou inferiores, produzirem substâncias químicas que, liberadas no ambiente de outras, influenciam de forma favorável ou desfavorável o seu desenvolvimento”. O conceito engloba atualmente o reino animal, com o reconhecimento de que a alelopatia se processa entre eles e entre plantas e animais. O eucalipto produz certas substâncias químicas que são capazes de inibir o crescimento de algumas espécies de vegetais.

FIGURA 3

Mapa de Vegetação do Brasil³⁷

Fonte: IBGE.

sante conhecer melhor a biodiversidade dos diferentes biomas brasileiros onde estão inseridas as plantações nacionais de eucalipto.³⁶

De acordo com o *Mapa de Vegetação do Brasil*, do IBGE, os biomas brasileiros estão classificados nas seis seguintes categorias: Amazônia, Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal.

³⁶ Em ecologia chama-se bioma a uma comunidade biológica, ou seja, fauna e flora e suas interações entre si e com o ambiente físico: solo, água e ar.

³⁷ De acordo com o IBGE, o Mapa de Vegetação do Brasil reconstitui a situação da vegetação no território brasileiro na época do descobrimento pelos portugueses e mostra que no país ocorrem dois grandes conjuntos vegetacionais: um florestal, que ocupa mais de 60% do território nacional, e outro campestre. As formações florestais são constituídas pelas florestas ombrófilas (em que não falta umidade durante o ano) e estacionais (em que falta umidade num período do ano), situadas tanto na região amazônica quanto nas áreas extra-amazônicas, mais precisamente na mata atlântica. As formações campestres são constituídas pelas tipologias de vegetação abertas, mapeadas como: savana, correspondente ao cerrado, que predomina no Brasil central, ocorrendo também em pequenas áreas em outras regiões do país, inclusive na Amazônia; savana estépica, que inclui a caatinga nordestina, os campos de Roraima, o Pantanal Mato-Grossense e uma pequena ocorrência no extremo oeste do Rio Grande do Sul; estepe, que corresponde aos campos, do planalto e da campanha, do extremo sul do Brasil; e a campinarana, um tipo de vegetação decorrente da falta de nutrientes minerais no solo e que ocorre na Amazônia, na bacia do rio Negro.

Como argumentado anteriormente, as principais plantações de eucalipto no Brasil concentram-se nos estados de Minas Gerais, Bahia, Espírito Santo, São Paulo e na Região Sul, gerando impactos, sobretudo, sobre os biomas: Mata Atlântica (litoral e sul da Bahia, Espírito Santo e São Paulo), Cerrado (Minas Gerais) e Pampa (Rio Grande do Sul).

Comparada com a Floresta Amazônica, a Mata Atlântica apresenta, proporcionalmente, maior diversidade biológica. No caso dos mamíferos, por exemplo, estão catalogadas 261 espécies na Mata Atlântica, contra 324 na Amazônia, apesar de esta ser quase cinco vezes maior do que a área original da primeira.

A distribuição do número de espécies de fauna e flora, por bioma, é mostrada na Tabela 7.

TABELA 7

Variedade Biológica – Biomas Brasileiros – Número de Espécies Catalogadas

BIOMAS	MAMÍFEROS	AVES	ANFÍBIOS	RÉPTEIS	PEIXES	INVERTEBRADOS	FLORA (VEGETAIS SUPERIORES)
Amazônia	324	950	163	550	1400	180.000	20.000
Cerrado	161	837	150	120	1200	–	6.600
Caatinga	80 (143)	350	49		191	185	1200
Mata Atlântica	261	1020	370	200	350	–	20.000
Campos Sulinos (Pampa)	90	385	183	200	–	–	3000
Pantanal	124	650	40	162	325	–	3.500
Brasil	524	1.600	517	468	2.700	335.000	55.000
Mundo	4.600	9.700	4.200	6.500	24.800	–	280.000

Fonte: Embrapa, Wikipédia e Ibama.³⁸

Monoculturas e Biodiversidade

Davidson (1985) afirma que uma monocultura jamais será capaz de oferecer a mesma diversidade de produtos e benefícios oriundos das florestas nativas. De acordo com o autor, a substituição da cobertura vegetal original, geralmente com várias espécies de plantas, por uma cultura única, seja nativa ou exótica, é, na maioria das vezes, uma prática danosa à biodiver-

³⁸ Deve-se ressaltar que os números acima apresentam discrepâncias relevantes, dependendo da fonte utilizada, e devem ser vistos apenas como valores aproximados. Entre os diferentes levantamentos faunísticos, elaborados por biólogos, também é possível observar discrepâncias significativas.

sidade.³⁹ *No caso da monocultura do eucalipto, por sua característica de floresta, observa-se maior variedade de flora e fauna do que em outras formas de monocultura.* Os reflorestamentos com monoculturas podem abrigar uma fauna variada, se técnicas objetivas forem aplicadas, reservando-se faixas de vegetação nativa (corredor biológico) e plantando-se árvores frutíferas, arbustos e gramíneas, que possam suprir a fauna silvestre com alimento abundante durante todo o ano [Almeida (1979)].

Cultivo Consorciado

Vale notar que a atividade silvicultural com eucaliptos não exclui do sítio onde é realizada a possibilidade de outras formas consorciadas de produção.

Com maior espaçamento entre as árvores, empresas brasileiras do setor têm mostrado ser possível não só o cultivo de diferentes grãos (milho e girassol), mas também a criação de gado (de corte e leite) em meio às plantações, o que amplia o espectro de alcance econômico da floresta e aumenta o número de produtos obteneíveis a partir dela, ampliando também o número de empregos gerados e a possibilidade de culturas de subsistência.

Variedade da Flora em Florestas de Eucalipto

De acordo com Poore e Fries (1985):

As características do ambiente onde será inserida a floresta são fundamentais para avaliação qualitativa e quantitativa dos impactos ambientais gerados sobre a biodiversidade da flora. De modo geral, as plantações apresentarão menor variedade de flora que as florestas nativas que substituem, e maior variedade de flora ao substituírem pastagens, áreas com outros cultivos agrícolas ou terras degradadas.

Davidson (1985), por sua vez, afirma que alguns tipos de eucaliptos, em regiões de baixa umidade e relativa escassez de nutrientes, podem ter efeitos negativos sobre a vegetação local e até mesmo sobre plantas mais jovens da mesma espécie, oriundos da competição por água e nutrientes. De acordo com o autor, uma das formas de reduzir esse impacto sobre a diversidade

³⁹ *Por exemplo: numa área de cerrado, é possível encontrar tamanduás, emas, lobos-guarás, bem como outros animais menores. Quando se derruba uma grande área de cerrado e planta-se, por exemplo, soja, esses animais têm dificuldade para se alimentar, não encontram abrigos e dificilmente conseguem se reproduzir. Aqueles que sobrevivem procuram outros locais, invadem áreas urbanas e tornam-se então presas fáceis.*

da flora consiste em plantar as florestas em forma de mosaicos, contendo compartimentos de 50 a 100 ha, separados por *corredores de florestas nativas* (denominados corredores biológicos). Ademais, diz o autor, o maior espaçamento no plantio das árvores poderia minimizar o problema.

De acordo com Poggiani (1996), a diversidade vegetal acarreta modificações contínuas na diversidade da fauna silvestre que pode ser alterada de acordo com as fases da rotação do povoamento florestal. Nos momentos de colheita, dois efeitos ocorrem: parte da vegetação rasteira é negativamente afetada pelas colheitadeiras e, por outro lado, a maior claridade proporcionada pela retirada dos eucaliptos acelera o desenvolvimento de novas espécies vegetais.

O Sub-Bosque de Florestas de Eucalipto

Santos (1999) define o sub-bosque como “a vegetação subarbustiva ou rasteira que se encontra no interior das florestas, principalmente a atlântica”. O autor afirma que o sub-bosque forma um nicho ecológico de vital importância no ecossistema florestal a que pertence e prossegue: “Nesse sistema altamente úmido e sombreado pela vegetação superior, predominam os arvoretos, pequenos arbustos, epífitas,⁴⁰ musgos, fungos e outras centenas de espécies hidrófilas (que necessitam de ambiente úmido).”

Schlittler (1984), ao estudar a composição da flora num sub-bosque de dois talhões de *E. tereticornis*, no município de Rio Claro (SP), observou diferenças entre os dois povoamentos avaliados, indicando distintos padrões de desenvolvimento do sub-bosque – em função de aspectos microclimáticos e da qualidade do solo. A biodiversidade apresentada nos talhões foi menor que a observada em matas nativas típicas do Estado de São Paulo.

Rajvanshi (1983) compara o sub-bosque de uma floresta natural (Sal Forest) em Golatappar-Dehra Dun, na Índia, com uma plantação de *Eucalyptus spp.*, atribuindo as diferenças na composição das espécies a diferentes aberturas da copa das árvores. O dossel mais aberto da plantação de eucalipto permite maior penetração de radiação e de água de chuva, explicando, dessa forma, a maior diversidade e população de plantas em seu sub-bosque.

⁴⁰ Epífitas são tipos de vegetais que não se enraizam no solo e fixam-se em outras árvores ou em objetos elevados: rochas, telhas e construções.

Neri (2005) apresenta estudo sobre a flora presente em sub-bosque de eucalipto. De acordo com o autor, a regeneração de sub-bosques em plantios homogêneos tem estreita dependência de florestas vizinhas. No estudo, foram encontradas 47 espécies, das quais se destacaram *Magonia pubescens* A. St. Hill e *Miconia albicans* (Sw.) Triana.

Variedade da Fauna em Florestas de Eucalipto

Apesar da menor variedade observada em florestas de eucalipto quando contrastadas com florestas nativas, ainda assim, é possível encontrar uma grande diversidade de mamíferos, aves e insetos nas florestas implantadas, como mostram alguns estudos, analisados em seguida.^{41,42}

Mastofauna

Dietz (1975) compara duas áreas: uma combinação de floresta nativa com *E. globulus* aos dez anos de idade e uma área plantada com *Araucaria angustifolia*, espécie nativa do Brasil. Foi estudada a incidência de cinco espécies diferentes de mamíferos (*Oryzomys nigripes*, *Monodelphis americana*, *Marmosa sp*, *Akodon arviculoides* e *Blarinomys breviceps*). De acordo com o autor, a maior incidência foi observada nas florestas de araucária.

Silva (2002) desenvolveu estudo objetivando verificar a riqueza, a composição específica e a diversidade das espécies de mamíferos existentes numa área formada por um mosaico de plantios de *Eucalyptus saligna* em contato com remanescentes de floresta atlântica. Na área de estudo, foram observadas 47 espécies de mamíferos, entre as quais espécies ameaçadas de extinção como o *Puma concolor* e o *Myrmecophaga trydactyla*. A diversidade de espécies encontradas foi semelhante nos fragmentos de flo-

41 Poore e Fries (1985) afirmam que as florestas compostas de espécies exóticas, geralmente por fornecerem menor variedade de alimentos, suportam menor variedade de herbívoros que as coberturas vegetais que substituem. Argumentam que as florestas plantadas com exóticas levam à uniformidade em função da predominância de uma única espécie e que, por serem cortadas ainda jovens, não propiciam o habitat necessário a algumas espécies de seres vivos, que se abrigam em árvores mais maduras ou em troncos de árvores já mortas.

42 Davidson (1985) afirma que florestas plantadas, independentemente da espécie ou do gênero plantado, contêm menor número de espécies animais do que uma floresta nativa. O autor argumenta que a introdução de florestas de eucalipto em áreas de floresta nativa, indubitavelmente, reduz a variedade da fauna. O desequilíbrio ecológico – sua magnitude e extensão – dependerão da espécie plantada, do tamanho das plantações e compartimentos de florestas nativas e do tipo de floresta nativa adjacente às plantações.

resta nativa e menor nos cultivos de *E. saligna*. A autora conclui afirmando que o estudo demonstra que os plantios de *E. saligna*, se devidamente manejados, podem ser localmente importantes na conservação de mamíferos não-voadores, visto que esse ambiente é utilizado como *habitat* por muitas espécies verificadas na área.

Silveira (2005) afirma que, apesar de a diversidade de fauna em florestas plantadas ser menor do que a observada em florestas nativas, o sub-bosque presente nessas florestas homogêneas pode fornecer alimentos, abrigo, proteção e o estabelecimento de um ambiente favorável à movimentação dos animais.⁴³ O número de registros foi maior no ambiente de eucalipto com sub-bosque denso e a riqueza de espécies foi maior no sub-bosque intermediário.⁴⁴ Foram encontradas dez espécies de mamíferos de médio e grande portes, sendo quatro carnívoros (animais considerados mais exigentes quanto ao *habitat*).

Avifauna

Segundo Almeida (1979), é fato notório que, pela estrutura dos reflorestamentos comerciais, apresentando talhões muito extensos com um pequeno número de espécies arbóreas, ainda que estas espécies sejam nativas, poucas espécies de aves poderão ali se adaptar, sendo as populações normalmente pequenas.⁴⁵

O autor afirma ainda que uma forma de aumentar a biodiversidade de pássaros em florestas de eucalipto seria a plantação intercalada dos eucaliptos

43 O estudo foi realizado no horto florestal de Itatinga (SP), numa área com predomínio de florestas de *Eucalyptus* spp e com remanescentes de vegetação nativa (no caso, floresta estacional semidecidual, cerrado, cerradão e áreas ripárias). A fim de verificar se a densidade do sub-bosque influencia no uso desses locais por mamíferos de médio e grande portes, foram comparados três tipos de ambientes de eucalipto: um talhão de eucalipto sem sub-bosque, um de eucalipto com sub-bosque intermediário e um talhão com sub-bosque denso.

44 Foram verificadas as categorias tróficas dos mamíferos levantados e observou-se que, em sua maioria, os animais possuem hábitos alimentares generalistas, mostrando a presença de animais menos exigentes quanto ao habitat.

45 Estudando talhões de cerradão compostos com a mesma vegetação, porém com tamanhos diferentes, mostra que, enquanto no maior talhão foram encontradas 71 espécies de aves, no menor foram encontradas apenas 44. No fragmento de pinus localizado no interior da floresta foram coletados três vezes mais pássaros do que na região com pinus no limite externo da floresta. Avaliando a população de pássaros em três fragmentos distintos de florestas de pinus: talhão A (próxima ao talhão implantado com essências nativas), talhão B (entre a reserva de vegetação natural e o talhão com essências nativas) e o talhão C (próximo à reserva de vegetação natural), o autor conclui que o talhão B é o mais freqüentado por aves, seguido de C e A. Isso mostra a maior importância da manutenção de matas nativas em relação à implantação de florestas com espécies exóticas.

com árvores frutíferas, que sirvam de alimentos para uma gama maior de espécies de pássaros. Ele argumenta que as empresas detentoras de florestas deveriam desenvolver programas de melhoramento de *habitats*.

Uma das conclusões alcançadas por estudos que medem a frequência de aparição de pássaros em diferentes fragmentos de floresta é que a biodiversidade é proporcional ao tamanho das plantações e é tão maior quanto mais florestas nativas (sob a forma de corredores biológicos) estiverem intercaladas com os talhões de eucalipto [Mello (1975)].

Para Cannel (1999), existe uma clara relação de compensação entre a maximização da produção de volume de madeira e a proteção da diversidade de vida silvestre. De acordo com o autor, isso ocorre porque existem alguns *habitats* que podem ser oferecidos somente por florestas mais maduras. Assim sendo, as florestas plantadas com fins comerciais (cortadas aos sete anos) não seriam *habitats* adequados a algumas espécies.

A biodiversidade em florestas de eucalipto é muito maior quando comparada a outras culturas agrícolas, como soja, cana-de-açúcar e café. Isso porque o eucalipto pode servir, por exemplo, como refúgio, casa ou ninho de diversas espécies de pássaros, o que não acontece, por exemplo, com cultivos com plantas de menor porte como cafezais, canaviais e outras espécies agrícolas utilizadas em monoculturas

Corredores Biológicos

Corredor biológico é uma faixa linear de vegetação contínua ou quase contínua que liga diferentes *habitats*, permitindo mobilidade das diversas espécies. Constituem uma estratégia de conservação ambiental de *habitats* fragmentados pela introdução de atividades antrópicas (pasto, agricultura e plantação de florestas, entre outros). Por constituir uma ligação entre *habitats*, os corredores biológicos aumentam a mobilidade genética entre diferentes fragmentos de florestas.

Em plantações de eucalipto, os corredores biológicos consistem na manutenção de “linhas” de floresta nativa intercaladas com as plantações, numa paisagem em mosaico.

Dessa forma, é possível observar mobilidade de espécies entre o corredor de mata nativa e a floresta de eucalipto, elevando a biodiversidade dessa última. Como visto no tópico acerca da composição faunística de florestas

de eucalipto, o tamanho dos talhões é fundamental para a heterogeneidade das espécies. Servindo como um canal de comunicação entre as florestas de eucalipto, os corredores aumentam o tamanho total dos *habitats* e permitem o desenvolvimento de maior biodiversidade.

Com base em modernas teorias ecológicas – “biogeografia de ilhas”, “metapopulações”, “populações mínimas viáveis” –, cientistas argumentam que é mais suscetível de obter a manutenção dos processos biológicos em paisagens que permitam a interligação entre *habitats*.

Dário e Almeida (2000), analisando a influência de corredores florestais sobre a avifauna da mata atlântica, estudaram a presença de pássaros em três fragmentos de vegetação natural (de 46 ha, 4 ha e 36 ha) e uma área de plantio de eucalipto adjacente de 42 ha, com sub-bosque bem desenvolvido, sendo a vegetação dos fragmentos, mata ciliar em estágio médio de regeneração secundária. Foram observadas, no total, 54 espécies de aves, distribuídas em 14 famílias e 6 ordens. A quantidade e a diversidade de aves apresentaram relação direta com o tamanho do fragmento e a estrutura da vegetação. O autor conclui que os plantios de eucalipto, mesmo com sub-bosque bem desenvolvido, muitas vezes são obstáculos para diferentes espécies da avifauna, principalmente as florestais.

*Em termos gerais, a biodiversidade em florestas de eucalipto, tanto de fauna quanto de flora, é menor do que a encontrada em florestas naturais, sendo, por outro lado, maior do que a encontrada em pastagens e outras lavouras. Ainda assim, mesmo com a menor riqueza biológica das plantações de eucalipto (quando contrastadas com vegetações naturais), a assertiva de que as florestas de eucalipto geram um “deserto verde” é exagerada, sem embasamento em constatações científicas e estudos. De fato, estudos apontam para a menor biodiversidade em florestas de eucalipto, que, entretanto, não deixa de existir. Como foi visto, as florestas de eucalipto são capazes de oferecer *habitats* seguros para uma extensa gama de espécies de pássaros, pequenos mamíferos, microflora e fauna, bem como rico desenvolvimento vegetal no denominado “sub-bosque”.*

5. O Eucalipto e o Ar

O ar atmosférico é constituído basicamente por nitrogênio, oxigênio e gás carbônico.^{46, 47} As florestas estão intrinsecamente ligadas aos efeitos

46 O ar atmosférico, em nível superficial, é composto de 21% de oxigênio, 78% de azoto e 1% de nitrogênio, gás carbônico, vapor de água e outros gases raros.

47 Estima-se que o estoque total de carbono na terra exceda 26×10^{15} Mg (megagrama), estando apenas 0,05% em compostos orgânicos. Um Mg equivale a 1.000 Kg ou 1 tonelada.

climáticos globais, ao retirarem gás carbônico da atmosfera, reduzindo o efeito estufa.⁴⁸ Por outro lado, atividades antrópicas – como as queimadas – são responsáveis por grande parte da emissão de CO₂ na atmosfera.

Seqüestro de Carbono

Como visto, em seu processo de crescimento, a floresta utiliza, além da água e dos nutrientes, energia solar e dióxido de carbono – para a fotossíntese – e utiliza oxigênio (devolvendo água e gás carbônico) na respiração.⁴⁹

A retirada de CO₂ da atmosfera tem sido denominada “seqüestro de carbono”. Uma vez que o CO₂ é um dos principais gases de efeito estufa, as plantações florestais funcionariam como sumidouros, consistindo numa forma de combater o aquecimento global.⁵⁰

A Coordenação Geral de Mudanças Globais do Ministério da Ciência e Tecnologia publicou, em 2002, relatório de referência sobre emissões e reduções de CO₂ originadas por mudanças nos estoques de plantações florestais, no Brasil. Foram utilizados dados da Bracelpa e da Associação Brasileira de Florestas Renováveis, referentes ao período de 1990 a 1994. As estimativas apontam para mudança total do estoque de carbono da ordem de 43,7 milhões de Mg, passando de 127,34 milhões de Mg para 171,08 milhões de Mg. Destes, 23 milhões estavam alocados em florestas de pinus e outros 148 milhões em eucaliptos [Balbinot (2004)].

O Mercado de Créditos de Carbono

Em 1997, em sua primeira etapa de implantação, a terceira conferência das partes (COP-3), realizada pelos países membros da convenção do clima, o Protocolo de Quioto previa a redução gradual da emissão de gases de efeito

48 Retenção do calor irradiado da terra por alguns gases presentes na atmosfera, denominados gases de efeito estufa (GEE), tais como: metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), clorofluocarbonos (CFC) e, em particular, CO₂. Estudos afirmam que, se as concentrações de CO₂ continuarem crescendo, a temperatura do planeta poderá sofrer alterações de 1,4 a 5,8 graus Celsius, nos próximos cem anos.

49 Vale frisar que apenas florestas em crescimento retiram mais CO₂ do que aquilo que devolvem à noite para a atmosfera, através da respiração. As florestas denominadas “maduras” devolvem na respiração basicamente todo o CO₂ absorvido na fotossíntese. Em condições ideais, afirma Hall (1980), a taxa fotossintética é trinta vezes maior do que a taxa de respiração.

50 De acordo com o Ministério da Ciência e Tecnologia, a quantidade estimada de carbono em uma árvore de eucalipto pode ser dividida da seguinte forma: tronco: 65%; copa: 13%; raiz: 22%.

estufa para as nações industrializadas. Foi acordada redução de 5,2% nas emissões de gases entre 2008 e 2012 (a base de comparação é o nível das emissões no ano de 1990).⁵¹

O artigo 17 do protocolo determina que os países do denominado Anexo 1 (países desenvolvidos) podem transferir entre si partes de suas quantidades designadas/permitidas⁵² de emissões de gases de efeito estufa. Sob esse mecanismo de compensação, os países que emitirem menos do que o autorizado pelo protocolo podem vender suas cotas excedentes, isto é, seus créditos de carbono.

Ainda no âmbito do Protocolo de Quioto, artigo 12, criou-se um mecanismo que permite a empresas e governos que não conseguirem cumprir suas metas de redução de emissões de gases comprar créditos de carbono em países em desenvolvimento. Esse mecanismo, sugerido pelo Brasil no bojo das discussões, é conhecido como Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). O Brasil pode se beneficiar com o mercado de carbono, sendo hospedeiro de projetos elegíveis ao MDL. Uma das modalidades previstas como parte constituinte de projetos MDL consiste no reflorestamento e no estabelecimento de florestas.⁵³

Os créditos de carbono são emitidos, por exemplo, por projetos que capturam gases, como os de reflorestamento, no qual o CO₂ é absorvido pelas plantas, e os de aterro sanitário, onde o metano pode ser usado na geração de eletricidade (também denominados *offset projects*).

Operacionalmente, os créditos de carbono são valores mobiliários comercializados sob a denominação de Certificado de Redução de Emissões (CRE).⁵⁴ Cada CRE decorre de uma atividade de projeto e representa a verificação de redução de uma tonelada de gás carbônico da atmosfera. Em

51 Naquele momento, cientistas afirmavam que, para estabilizar o crescimento de CO₂ na atmosfera, seria necessária a redução de 60% em relação aos níveis observados em 1990.

52 A partir daí, deu-se início a um mercado destas "allowances".

53 De acordo com a nona conferência das partes, o protocolo define florestamento como a "conversão induzida diretamente pelo homem de uma área que não foi florestada por um período de pelo menos 50 anos para uma área florestada, por meio de plantio, semeadura e/ou promoção de fontes naturais de sementes induzidas pelo homem" e reflorestamento como a "conversão induzida pelo homem de uma área não-florestada para área florestada por meio de plantio, semeadura etc., em área que era florestada, mas que foi convertida para não-florestada".

54 RCE em inglês - O certificado de redução de emissões diz, por exemplo, que determinada floresta ou plantação de grãos vai fixar uma dada quantidade de CO₂ por mês ou por ano. Com base nisso, emite-se um certificado dizendo que o que está previsto ali é verdadeiro, que realmente irá acontecer. Então essa empresa oferece esse certificado através de um banco ou de uma empresa especializada.

termos práticos, uma empresa que está emitindo CO₂ e que não tem tempo suficiente para fazer uma reconversão dentro dos prazos estabelecidos pelo protocolo poderá pagar para que alguém num país em desenvolvimento (fora do Anexo 1), através de um sistema de produção vegetal – por exemplo –, capte carbono da atmosfera. Comprar um CRE significa que a empresa está pagando a fixação de uma dada quantidade de carbono. Esse é o mecanismo, o chamado mercado de carbono.

Contudo, independentemente da entrada em vigor do Protocolo de Quioto, já funcionava a pleno vapor um mercado paralelo de créditos de carbono integrado por diversas instituições e empresas americanas, européias e asiáticas, além do Banco Mundial.⁵⁵ Empresas americanas como a DuPont, a Ford e a General Motors criaram, em 2003, por conta própria, uma espécie de bolsa privada, a Chicago Climate Exchange (CCX).⁵⁶ Em 2005, a União Européia também institucionalizou o mercado de créditos de carbono, com seu mercado de *allowances*, o EU *emissions trading scheme* (EU ETS).

Em julho de 2007, havia 158 projetos MDLs aprovados pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, no Brasil. A grande maioria deles se concentra na geração alternativa de energia (observam-se muitos projetos de co-geração à base de biomassa de bagaços de cana), além de aterros sanitários, muitas pequenas centrais hidrelétricas e até mesmo um projeto de fixação de GEE numa suinocultura. Curiosamente, não é possível observar qualquer projeto florestal enquadrado pelo MCT no âmbito do MDL.

O Protocolo de Quioto e as Florestas

A nona conferência das partes, ocorrida no âmbito dos encontros anuais da Convenção do Clima, realizada entre 1 e 12 de dezembro de 2003, em Milão, adota definições, modalidades e procedimentos necessários para que atividades de florestamento e reflorestamento sejam elegíveis ao MDL.⁵⁷

55 Ver *Prototype Carbon Fund (PCF)*.

56 A commodity negociada na CCX é o CFI (*Carbon Financial Instrument*), que possui duas modalidades: 1) *Exchange Allowances* – determinada pela linha de base e pelo esquema de reduções; e 2) *Exchange Offsets* – representando os créditos gerados por projetos MDL. Em 15.8.2007, o CFI – que representa 100 toneladas métricas de CO₂ equivalentes – estava cotado a US\$ 3,5. Nesse mesmo ano, as seguintes empresas do setor florestal estavam listadas na CCX: *Abitibi-Consolidated*, *Aracruz Celulose S. A.*, *Cenibra Nipo Brasileira S. A.*, *International Paper*, *Klabin S. A.*, *Masisa S. A.*, *MeadWestvaco Corp.*, *Neenah Paper*, *Incorporated*, *Stora Enso North America*, *Suzano Papel e Celulose S. A* e *Temple-Inland Inc.*

57 No momento da conferência, houve discussões acerca da inclusão ou não de espécies exóticas e/ou geneticamente modificadas no âmbito do MDL. Decidiu-se, por fim, que cada país hospedeiro do

Nessa ocasião, foram apresentadas as definições e modalidades sobre Uso da Terra e Florestas (LULUCF).⁵⁸ Nesse documento, foram inseridos temas sobre linha de base,⁵⁹ adicionalidade,⁶⁰ opções de creditação, bem como critérios socioeconômicos e ambientais.

Em seguida, foi preparado outro documento (FCCC/SBSTA/2003/L.27), conhecido como “Draft-Decision-CP.9”, contendo um anexo de detalhamento das modalidades e procedimentos para que atividades de florestamento e reflorestamento sejam elegíveis à geração de créditos de carbono no âmbito do mecanismo de desenvolvimento limpo.⁶¹

No Brasil, a Resolução 2 da Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC) estabelece os procedimentos para aprovação, no âmbito do mecanismo de desenvolvimento limpo, de projetos de florestamento e reflorestamento.⁶² Naturalmente, a resolução segue as delimitações do Anexo do CP.9.

Quantificando Estoques de Carbono em Florestas de Eucalipto

Assumida a importância das florestas no equacionamento das questões climáticas do planeta, passaram a surgir estudos estimando o estoque de carbono contido na totalidade das árvores e alocado em seus distintos compartimentos.

Villa Nova (2003), no estudo “Eficiência de captura de energia solar por dosséis de *Eucalyptus pellita* F. Muel sob várias densidades de plantio”, mostra que a produção de biomassa de tronco é maior em plantios mais densos. O autor argumenta que a menor competição, oriunda de espaça-

projeto deve avaliar os riscos ambientais da implantação de florestas exóticas, de acordo com sua legislação interna.

58 *Land-use, land-use change and forestry.*

59 *A “linha de base” de um projeto MDL consiste no nível de emissões que ocorreriam na ausência do projeto, o que fornece um ponto de referência e permite avaliação do cumprimento de metas.*

60 *O critério de adicionalidade requer que um dado projeto implique emissões menores do que as que seriam observadas em sua ausência.*

61 *Vale notar que as atividades de projetos florestais são válidas somente para o primeiro período de compromisso (2008-2012).*

62 *Segundo decreto de 7 de julho de 1999, a CIMGC seria composta por integrantes dos seguintes Ministérios: Relações Exteriores; Agricultura, Pecuária e Abastecimento; Transportes; Minas e Energia; Planejamento, Orçamento e Gestão; Meio Ambiente; Ciência e Tecnologia; Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior; Cidades; Fazenda; e da Casa Civil da Presidência da República.*

mentos maiores, permite que a planta conserve mais nutrientes para a produção de folhas e galhos em detrimento da biomassa do tronco – onde se encontra a maior parte do carbono. Dessa forma, distintos espaçamentos geram distintas quantidades de carbono seqüestrada.

Soares e Oliveira (2002) afirmam que o fuste sem casca representa a parte aérea da árvore com maior quantidade de carbono (83,24%), seguido dos galhos (6,87%), da casca (6,62%) e das folhas (2,48%).

Na mesma linha de estudo, Silva (2006) apresenta as seguintes conclusões: 81% do carbono estocado nas árvores de eucalipto estão concentrados no tronco, 8% nas cascas, 7,7% nos galhos e apenas 2,57% nas folhas.

Com base em um inventário numa plantação de *E. grandis*, com seis anos de idade, em Viçosa (MG), verificou-se que 47,7 toneladas de carbono por hectare estão estocadas nas partes aéreas da árvore, 14,7 toneladas nas raízes e 8,7 toneladas na manta orgânica, totalizando 71 toneladas de carbono por hectare.

Novos estudos estão surgindo e merecem a atenção dos formuladores de políticas públicas.

6. Conclusões

Os impactos ambientais do eucalipto sobre a água, o solo e a biodiversidade parecem depender fundamentalmente das condições prévias ao plantio, na região onde será implantada a floresta, bem como do bioma onde será inserida e das técnicas de manejo empregadas. De acordo com tais condições iniciais, as plantações de eucaliptos podem gerar impactos ambientais benéficos ou deletérios ao meio ambiente.

A Água

O impacto do eucalipto sobre os recursos hídricos de uma dada região parece depender mais das características do clima local (em particular, do volume pluviométrico da região) do que somente de características fisiológicas próprias dos eucaliptos. Começam a surgir novas evidências acerca do consumo absoluto de água pelo eucalipto, situado ao redor de 800 a 1.200 mm/ano. Uma vez que grande parte das plantações brasileiras de

eucalipto situa-se em regiões de volume pluviométrico superior a 1.200 mm/ano, em tese, as florestas não tenderiam a acarretar déficit hídrico nessas regiões. Em regiões com volume pluviométrico inferior a 400 mm/ano, as florestas de eucalipto podem acarretar ressecamento do solo, ao utilizarem os estoques de água armazenados em suas camadas superficiais. Já os impactos sobre lençóis freáticos devem ser analisados caso a caso, pois dependem da localização da floresta em relação à bacia hidrográfica. Do ponto de vista da eficiência na produção de biomassa, existem muitos estudos apontando o eucalipto como uma das mais eficientes espécies, vale dizer, o eucalipto produz mais biomassa por litro de água consumido do que outras culturas.

O Solo

Do mesmo modo, o impacto das plantações de eucalipto sobre o solo depende do bioma onde se inserem e das condições prévias ao plantio.

Ao substituir florestas nativas por florestas plantadas para uso industrial, observar-se-á maior degradação do solo nestas últimas, por duas razões principais: (1) de um lado, observa-se considerável extração de nutrientes armazenados nos troncos das árvores, quando é feita a colheita (vale lembrar que esses efeitos podem ser substancialmente mitigados com a utilização de técnicas de colheita que preservem, no local, as cascas, folhas e raízes, responsáveis, em média, por 70% dos nutrientes contidos nas plantas). (Atualmente, as empresas do setor de celulose e papel adotam práticas de manejo que preservam os resíduos orgânicos no sítio); e (2) de outro lado, por causa de seu relativo baixo índice de área foliar, o eucalipto permite que mais água chegue ao solo (em comparação com a mata atlântica), acarretando maior erosão e conseqüente perda de nutrientes por lixiviação.

Se, por outro lado, o eucalipto é plantado em solo já degradado por outras culturas, áreas de savana ou em pastagens, observar-se-á aumento dos nutrientes do solo, sobretudo pela mineralização da serapilheira. De fato, no Brasil e em outras partes do mundo, o eucalipto tem sido utilizado para aumentar a fertilidade e a aeração do solo de algumas áreas para posterior cultivo agrícola.

Por fim, estudos mostram que o eucalipto não consome mais nutrientes do solo do que outras culturas agrícolas. Ademais, vale lembrar que as

queimadas são responsáveis por grande parte das emissões brasileiras (e mundiais) de CO₂.

A Biodiversidade

Das críticas dirigidas ao eucalipto, a redução na biodiversidade de flora e fauna é uma das que apresentam menos controvérsias. Da mesma forma, o impacto de florestas plantadas sobre a biodiversidade dependerá do bioma onde a floresta será inserida. De fato, em comparações com diferentes formas de vegetação nativa, as plantações de eucalipto apresentam menor variedade de espécies – vegetais e animais.

Entretanto, como apresentado, não só existe uma diversidade de espécies vegetais presentes no sub-bosque das florestas de eucalipto, como é possível observar também a presença de distintas espécies de aves e pequenos mamíferos nesses ambientes (além de insetos). As técnicas de plantação em mosaico permitem, através da criação de um corredor biológico, maior mobilidade genética entre a floresta nativa e a plantada e entre diferentes fragmentos dos plantios. Isso melhora as condições de *habitat* para os animais e aumenta, dessa forma, a biodiversidade nas florestas plantadas. Ao comparar florestas de eucalipto com outras formas de monocultura ou com pastagens, observa-se maior biodiversidade nas florestas.

Por fim, vale lembrar que o cultivo do eucalipto permite também a produção consorciada com outras atividades econômicas, como a agricultura de subsistência, a produção de grãos e a atividade pastoril.

O Ar

As plantações de eucalipto, através do seqüestro de gás carbônico durante sua fase de crescimento, contribuem para a redução do efeito estufa. O corte, entretanto, com conseqüente uso da madeira, acaba por devolver grande parte desse carbono para a atmosfera. Assim sendo, a silvicultura de exóticas para uso comercial não tem sido eleita no âmbito do MDL. Para que o setor se engaje no MDL com projetos florestais, é necessário que esses projetos passem a contemplar áreas de não-corte ou que venham associados ao reflorestamento de matas nativas, sem finalidades comerciais. O importante é que deve haver um saldo líquido positivo (critério de “adicionalidade”) entre o que se planta e o que se utiliza de madeira (para

seus diversos fins) – ou, vale dizer, entre o que se seqüestra e o que se emite de gás carbônico.

Por tudo que foi exposto, vê-se que podem existir tanto efeitos benéficos quanto efeitos deletérios das plantações de eucalipto sobre o meio ambiente, os quais dependerão das condições prévias à implantação da floresta, do bioma onde será inserida, bem como das técnicas de manejo empregadas. Nenhum desses efeitos é inexorável, dependendo fundamentalmente dessas condições.

Dada a importância desse setor para a sociedade, são necessárias medidas capazes de mitigar os possíveis efeitos deletérios das plantações. Nesse sentido, as técnicas de manejo e a manutenção de corredores biológicos aparecem como fundamentais para a redução dos impactos sobre a água, o solo e a biodiversidade.

Por fim, é necessário enfatizar que não se defende a substituição de florestas nativas por florestas plantadas, por todos os fatores já mencionados, mas sim a implantação de florestas de eucalipto em áreas onde a floresta nativa já foi derrubada, em áreas de pastagens ou em áreas degradadas, o que – além de garantir o suprimento de uma matéria-prima essencial para a sociedade – pode gerar melhoria do regime hídrico, do solo, da biodiversidade, enfim, do meio ambiente.

Referências Bibliográficas

ABRAF. “Anuário Estatístico”, 2006.

ALMEIDA, A. F. “Influência do tipo de vegetação nas populações de aves em uma floresta implantada de *Pinus spp*, na região de Agudos-SP”. Ipef, n. 18, jun. 1979.

_____. “Florestas implantadas e a fauna silvestre”. *Circular Técnica* 49, maio de 1979.

ALMEIDA, A. F., VICENZO, M. C. V., DÁRIO, F. R. “Avifauna em fragmentos da mata atlântica”, *Ciência Rural*, v. 32, nov./dez. 2002.

ALMEIDA, A. “Monitoramento de fauna e seus *habitats* em áreas florestadas”. *Série Técnica Ipef*, v. 12, 1998.

- ALMEIDA, A. C.; SOARES, J. V. “Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e floresta ombrófila densa (Mata Atlântica)”. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 27, n. 2, 2003.
- ARACRUZ. “Estimativa de biomassa e estoque de carbono em nativas da Aracruz”, jan. 2006.
- BALBINOT, R. “Implantação de florestas geradoras de créditos de carbono: Estudo de viabilidade no sul do Estado do Paraná, Brasil”. Dissertação de mestrado em Ciências Florestais, 2004.
- BARDEN, C. D.; JEANRENAUD, S.; SECKER-WALKER, K. Roles: n. 2, Shell/WWF, Tree plantation review, Londres, 1993.
- BOUVET, J. M. “Les plantations d’Eucalyptus: évolutions récents et perspectives”. *Spécial Eucalyptus*, L’association Silva, Paris, 1999.
- CAMPOS, Maria Lúcia. “Ciclagem de nutrientes em florestas e pastagens”, 1998.
- CANNELL, M. G. R. “Environmental impacts of forest monocultures: water use, acidification, wildlife conservation and carbon storage”. *New Forests*, v. 17, 1999.
- CHINNAMANI, S.; GUPTA, S. C. “Afforestation with broom as a nurse crop”. *Indian Forester*, 91, 1965.
- DAVIDSON, J. “Setting aside the idea that eucalyptus are always bad”. UNDP/FAO project Bangladesh BGD/79/017, 1985 (Working Paper, 10).
- _____. “Ecological aspects of eucalyptus plantation”. *Proceedings Regional Expert Consultation on Eucalyptus*, v. I, 4-8, oct. 1993.
- DIETZ, J. M.; COUTO, E. A.; ALFENAS, A. C.; FACCINI, A.; SILVA, G. F. “Efeito de duas pequenas plantações de florestas homogêneas sobre populações de mamíferos pequenos”. *Brasil Florestal* 6(23), p. 54-57, 1975.
- EDRAKI, M.; KOWSAR, S. “Water consumption of a six-year-old river red gum plantation in the Southern Zagros Mountains, Iran”. *Science Press*, v. 4, n. 2, 2006.
- ELDRIDGE, K.; DAVIDSON, J.; HARWOOD, C.; VAN WYK, G. *Eucalypt domestication and breeding*. Oxford: Clarendon Press, 1993.
- FLORIANO, Eduardo. “Metodologia para avaliação de impactos ambientais na eucaliptocultura para fabricação de celulose”. Santa Rosa, 2004.

- FOELKEL, C. “Minerais e nutrientes das árvores dos eucaliptos: Aspectos ambientais, fisiológicos, silviculturais e industriais acerca dos elementos inorgânicos presentes nas árvores”. *Eucalyptus Newsletter*, n. 2, out. 2005.
- IPEF. “Fibra”. *Jornal da Cenibra*, n. 217, nov. 2003.
- LIMA, W. P. “Comparative evapotranspiration of eucalyptus, pine and natural “cerrado” vegetation measure by the soil water balance method”. Ipef International, Piracicaba, 1990.
- LIMA, W. “O eucalipto seca o solo?”. *Sociedade Brasileira de Ciências do Solo*, v. 29, n. 1, 2004.
- NERI, A V. “Regeneração de espécies nativas lenhosas sob plantio de *Eucalyptus* em área de Cerrado na Floresta Nacional de Paraopeba, MG, Brasil”, *Acta Botanica Brasílica*, n. 2, v. 19, jun. 2005.
- PALMBERG, C. “Annotated bibliography on environmental, social and economic impacts of eucalypts”. Compilation from English, French and Spanish publications between 1995-1999, set. 2002.
- PATIL, V. “Local communities and eucalyptus – Experience in India”. *Proceedings Regional Expert Consultation on Eucalyptus*, v. I, 4-8 oct. 1993.
- POGGIANI, F. “Monitoramento ambiental de plantações florestais e áreas naturais adjacentes”. *Série Técnica Ipef*, Piracicaba, v. 10, n. 29, p. 22, nov. 1996.
- POORE, M. E. D; FRIES, C. *The ecological effects of eucalyptus*. FAO, 1985.
- RAJVANSHI, A.; SONI, S.; KUKRET, U. D.; SRIVATAVA, M. M. “A comparative study of undergrowth of Sal forest and *Eucalyptus* plantation at Golatappar-Dehra Dun during rainy season”. *Ind. Jr. For.* 6(2), p. 117-119, 1983.
- SANTOS, A. S. “Sub-bosque: Importância e proteção jurídica”. Programa Ambiental: “A última arca de Noé”, 1999-2007. Disponível em: <<http://www.ultimaarcadenoe.com>>.
- SCARPINELLA, Gustavo de Almeida. “Reflorestamento no Brasil e o protocolo de Quioto”. São Paulo, 2002.
- SCHLITTLER, F. H. M. *Composição florística e estrutura fitossociológica do sub-bosque de uma plantação de Eucalyptus tereticornis Sm. no muni-*

cípio de Rio Claro - SP. Rio Claro, Unesp, 1984, 142p. (Tese de Mestrado).

SILVA, C. R. “Riqueza e diversidade de mamíferos não-voadores em um mosaico formado por plantios de *Eucalyptus saligna* e remanescentes de floresta atlântica no município de Pilar do Sul”. São Paulo, 2002.

SILVA, G. F. “Quantificação do estoque de carbono e avaliação econômica de diferentes alternativas de manejo em um plantio de eucalipto”. *Revista Árvore*, v. 30, n. 3, jun. 2006.

SILVA, W. *et al.* “Índice de consumo e eficiência do uso da água em eucalipto, submetido a diferentes teores de água em convivência com braquiária”. Curitiba: Floresta (UFPR), v. 34, n. 3, p. 325-335, 2004.

SILVEIRA, P. B. “Mamíferos de médio e grande porte em florestas de *Eucalyptus spp* com diferentes densidades de sub-bosque no município de Itatinga, SP”. 2005.

SOARES, C. P; OLIVEIRA, M. L. “Equações para estimar a quantidade de carbono na parte aérea de árvores de eucalipto em Viçosa, Minas Gerais”. *Revista da Árvore*, v. 26, out. 2002.

VILLA NOVA, N. A. “Eficiência de captura de energia solar por dosséis de *Eucalyptus pellita* F. Muel sob várias densidades de plantio”. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 11, n. 2, 2003.

