

## FLORESTAS PARA FINS ENERGÉTICOS E CICLAGEM DE NUTRIENTES

*Fábio Poggiani\**

### 1. O CICLO DE NUTRIENTES COMO FUNDAMENTO DA MODERNA SILVICULTURA

Ao penetrarmos numa floresta natural de qualquer parte do mundo verificamos que as folhas das árvores nunca apresentam sinais de deficiência mineral, mesmo quando situadas em solos pobres. Podemos observar, isto sim, árvores senescentes cujos ramos e troncos estão em fase de decrepitude ou árvores caducifólias que em determinadas épocas do ano derrubam completamente as folhas, ocorrendo antes uma completa alteração na coloração das mesmas. São estes, entretanto, fenômenos naturais da vida das árvores.

Assim sendo, até o século passado nunca se cogitou em problemas de nutrição mineral em florestas.

Este aspecto começou a ser seriamente encarado com a utilização de espécies arbóreas exóticas em silvicultura e com a crescente implantação de florestas de rápido crescimento para fins industriais, e no presente, também para fins energéticos.

No caso da introdução de espécies exóticas: quando uma espécie arbórea de uma certa região passa a ser plantada em outra região, mesmo que esta apresente as mesmas características climáticas da primeira, dificilmente apresentará também as mesmas características edáficas. Como qualquer espécie florestal, mesmo se pouco exigente tem necessidade nutricionais bem definidas, poderá apresentar, mais cedo ou mais tarde, deficiências em relação a alguns macro ou micro-elementos essenciais, que devem conseqüentemente ser adicionados sob a forma de adubo.

Além disso, as espécies de rápido crescimento absorvem também com maior intensidade os nutrientes do solo e, na verdade, quando grandes quantidades de fitomassa são retiradas da floresta, por ocasião dos cortes ou dos desbastes, o "site" fica empobrecido de uma apreciável quantidade de nutrientes.

Conseqüentemente, é preciso esclarecer que o conceito de floresta como recurso natural renovável é válido, desde que os princípios básicos de conservação sejam respeitados.

De fato, as florestas através das diversas atividades metabólicas ao nível dos macro e microrganismos que compõem e o sistema, fixam o carbono, o oxigênio, o hidrogênio e o nitrogênio que são elementos químicos fundamentais na constituição da matéria orgânica.

Além disso, a contínua ciclagem dos elementos minerais dentro das árvores e entre o solo e as árvores faz com que, possam existir luxuriantes florestas, mesmo em solos pobres que normalmente não suportariam culturas agrícolas.

Quando entretanto, pensamos em plantações florestais destinadas a produzir elevadas quantidades de biomassa para fins industriais ou energéticos, o conceito amplamente difundido de que as florestas podem manter indefinidamente uma elevada produtividade, deve ser reformulado em função de uma visão mais realista, principalmente nas regiões tropicais onde as atividades humanas vêm destruindo inúmeros ecossistemas e empobrecendo de forma drástica os solos.

---

\* Professor Assistente do Depto de Silvicultura da ESALQ/USP – Curso de Engenharia Florestal.

Acreditamos portanto, que os conceitos aqui expostos, servirão de base principalmente para o manejo criterioso das florestas de rápido crescimento para fins energéticos.

## 2. A MOVIMENTAÇÃO DOS NUTRIENTES NA FLORESTA

*PRITCHETT* (1979) resumindo as idéias de notáveis pesquisadores aponta para a floresta duas formas de ciclos de nutrientes: um externo e outro interno. Ao ciclo externo, ele chama também de geoquímico e inclui as formas de transferências de nutrientes para dentro e para fora do ecossistema florestal. Ao ciclo interno ele chama também de ciclo biológico, que abrange apenas a ciclagem interna dos nutrientes no ecossistema florestal. O ciclo biológico contudo/pode ainda ser subdividido em duas partes: o ciclo bioquímico que se refere à movimentação dos nutrientes dentro da própria árvore e o ciclo biogeoquímico que abrange a ciclagem dos nutrientes entre o solo e a biomassa arbórea.

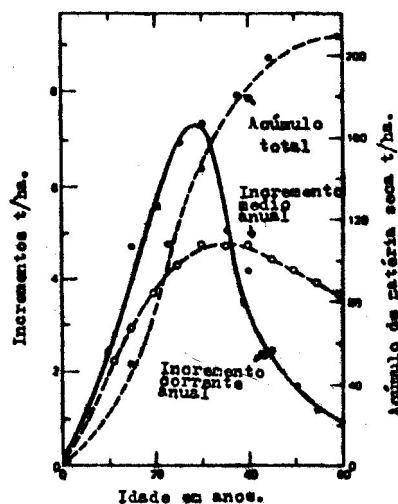
A floresta não perturbada, da maneira geral, apresenta uma grande estabilidade, ou seja: os nutrientes introduzidos no ecossistema através da chuva e do intemperismo geológico estão em equilíbrio com os nutrientes perdidos para os rios. Diferente é o caso da floresta manejada, onde a retirada da fitomassa florestal age como elemento de desequilíbrio. De maneira simples, poderíamos comparar o estudo da ciclagem de nutrientes em florestas a um sistema de contabilidade onde existem entradas e saídas e no qual o solo exerce o papel de “caixa”.

Evidentemente, quando o solo é pobre, como ocorre em nossos cerrados e grande parte da Amazônia devem ser tomados cuidados suplementares.

## 3. DISTRIBUIÇÃO DE NUTRIENTES NA FITOMASSA FLORESTAL

O acúmulo de fitomassa varia ao longo da evolução do ecossistema florestal sendo mais acelerado na fase juvenil até o ponto em que a floresta atinge a maturidade. Segue-se um período em que o acúmulo de fitomassa é muito baixo, sendo que na prática, a energia assimilada através da bioconversão se equilibra com a energia perdida através da respiração.

*SWINTZER et alii* (1968), em estudo efetuado com *Pinus taeda*, relacionam os incrementos corrente e anual médio com o acúmulo total de matéria seca. (figura 1).



**FIGURA 1.** Acúmulo anual e total de matéria seca nos troncos de *Pinus taeda* durante 60 anos.

Um outro aspecto importante que deve ser lembrado é como a fitomassa se distribui entre os diferentes componentes das árvores (tronco, ramos, folhas, etc), à medida que a floresta evolui da fase juvenil para a maturidade.

*POGGIANI et alii* (1979), salientam que na fase inicial de crescimento das árvores os pesos da matéria seca dos caules e das copas são quase equivalentes.

Todavia, a medida que as árvores crescem, enquanto as copas mantêm aproximadamente a mesma fitomassa, os pesos dos caules aumentam de forma exponencial. Considerando que a pequena quantidade de fitomassa representada pela copa contém um elevado teor de nutrientes, os autores questionam a conveniência de se utilizar rotações demasiadamente curtas para a produção de biomassa, face à elevada exportação de nutrientes, cuja reposição via adubação representaria um custo elevado.

Estes estudos feitos com árvores de *Eucalyptus grandis* cortadas aos quatro anos de idade mostraram o seguinte resultado quando à biomassa e à distribuição de nutrientes.

**TABELA 1.** Fitomassa seca a 80°C (kg/ha) e nutrientes (kg/ha) exportados por ocasião do corte de uma plantação de *Eucalyptus grandis*, com a idade de 4 anos (1300 árvores por hectare).

	Lenho	%	Casca	%	Galhos	%	Folhas	%	Total	%
Fitomassa	35.272,30	61,0	7008,20	12,3	6632,30	11,7	7996,40	14,0	56909,2	100
N	56,42	18,5	23,82	7,8	43,76	14,4	181,50	59,4	305,5	100
P	3,52	11,5	7,70	25,2	6,62	21,6	12,78	41,8	30,62	100
K	17,62	16,3	16,10	14,9	26,52	24,5	47,96	44,3	108,2	100
Ca	10,58	12,6	33,62	40,0	16,58	19,8	23,18	27,6	83,96	100
Mg	7,04	18,7	4,90	13,0	6,62	17,6	19,18	50,8	37,74	100

Mostra a tabela que a maior quantidade de fitomassa é representada pelos fustes (61%), enquanto que a maior quantidade de nutrientes está contida nas folhas e, em seguida, nos componentes: casca > galhos > lenho do tronco. As folhas representam apenas 14% da fitomassa total mas contém cerca de 45% dos nutrientes da fitomassa arbórea. Deve ser assinalado, que a casca contém a maior quantidade de cálcio.

O encurtamento das rotações (mini-rotações) deve ser uma alternativa de manejo bem estudada face à potencialidade energética das regiões tropicais e sub-tropicais e ao rápido crescimento de algumas espécies arbóreas. Resultados preliminares de experimentos que o setor da Ecologia Florestal do Departamento de Silvicultura da ESALQ/USP vem realizando, com o suporte do IPEF, evidenciam a vantagem do uso de espaçamentos menores do que os usuais para rotações curtas, na obtenção final de fitomassa.

**TABELA 2.** Fitomassa arbórea (t/ha) e nutrientes (kg/ha) exportados por ocasião da exploração de talhões de eucaliptos com diferentes idades de espaçamentos\*.

Fitomassa e Macronutrientes	<i>E. saligna</i> 8 anos		<i>E. grandis</i> 4 anos		<i>E. grandis</i> 2,5 anos	
	1300	árv./ha	1300	árv./ha	5400	árv./ha
Copa t/ha	15,00	12%	15,00	26%	16,00	16%
Macronutriente kg/ha	188,00	25%	384,00	68%	386,00	49%
Fuste t/ha	117,00	88%	42,00	74%	83,00	84%
Macronutriente kg/ha	547,00	75%	181,00	32%	406,00	51%
Árvore t/ha	132,00	100%	57,00	100%	99,00	100%
Macronutriente kg/ha	762,00	100%	565,00	100%	792,00	100%

Utilizando os dados da tabela 2, vejamos o que ocorre primeiramente com relação à fitomassa.

O talhão cortado aos 8 anos, com 1300 árvores por hectare, apresenta uma produção total de matéria seca de 132 toneladas, mais do que o dobro do talhão com a mesma densidade arbórea e cortado aos 4 anos. No primeiro caso a fitomassa da copa representa 12% do peso total, enquanto que no segundo 26%. Como salientamos anteriormente, o crescimento da copa diminui gradativamente com a idade, ao passo que a fitomassa do fuste continua aumentando de forma exponencial.

Entretanto, a árvore como um todo, apresenta um maior, incremento de fitomassa na fase juvenil.

Desta forma, associando-se a rapidez do crescimento inicial com a elevada densidade arbórea (5400 árvores/ha) obtem-se uma grande produção de fitomassa/como se observa no caso de *E. grandis* cortado aos 2,5 anos de idade, ou seja, 99 toneladas em peso de matéria seca.

Evidentemente este processo exige um manejo intensivo, com custos adicionais não desprezíveis e uma adubação pesada. Este último aspecto leva nossa atenção ainda para a tabela 2 onde estão relacionadas as exportações de nutrientes contidos na fitomassa.

\* As comparações entre os dados devem ser feitas com certa reserva, tratando-se de sítios experimentais diferentes. Os dados foram coletados com a colaboração da GUATAPARÁ FLORESTAL S/A e da CIA. AGROFORESTAL SANTA BÁRBARA.

Como o teor de nutrientes do tronco é sempre muito menor do que o teor de nutrientes da copa, a exportação final de elementos minerais é proporcionalmente sempre menor nos talhões mais velhos, cujos troncos representam quase o peso total da fitomassa.

Entretanto, nota-se, que dentro de certas proporções, quanto menor o espaçamento entre as árvores do talhão, menor é a proporção de fitomassa da copa. Isto pode ser notado no estande de *E. grandis* cortado aos 2,5 anos e com 5400 árvores por hectare. Apesar desta vantagem, a exportação de nutrientes é ainda muito elevada em função do alto teor de nutrientes dos troncos, visto que as árvores se encontram ainda na fase juvenil.

Isto mostra, que um vasto trabalho de pesquisa deverá ser realizado para selecionar espécies e clones de árvores ecologicamente mais apropriadas para serem plantadas em regimes de "mini-rotações".

É importante chamar a atenção para o fato que, em todos os casos a fitomassa da copa sempre representa uma pequena parcela da árvore total, mas com um elevado teor de elementos químicos; o que torna sua exploração bastante problemática em termos ecológicos. Este fato merece estudos econômicos mais realistas, levando em consideração os preços dos adubos que deverão ser adicionados ao solo para manter a produtividade do sítio.

A floresta para fins energéticos, para ser de fato competitiva com as culturas agrícolas, deve ocupar áreas de baixa fertilidade. Ocorre que em solos muito pobres, os eucaliptos, também não crescem satisfatoriamente, a menos que seja utilizado adubo. Conseqüentemente, a pesquisa florestal deve ser estimulada no sentido de ampliar as escolhas de variedades, espécies e gêneros de árvores com potencial para produzir elevados volumes de fitomassa, mesmo quando plantadas em solos de baixa fertilidade. O objetivo seria a obtenção da maior quantidade possível de fitomassa com a menor exportação de nutrientes do "site".

Neste sentido *SWITZER et alii (1976)* chamam a atenção das vantagens das plantações de *Pinus taeda* sobre as plantações de *Populus tremuloides* (folhosa de rápido crescimento) quanto à menor exportação de nutrientes das primeiras em relação às segundas, por ocasião do corte aos 16 anos de idade. Os dados estão reproduzidos na tabela 3.

**TABELA 3.** Nutrientes acumulados pela fitomassa de plantações de *Populus tremuloides* e de *Pinus taeda*, aos 16 anos de idade e que forneceram aproximadamente a mesma fitomassa (cerca de 145 t/ha).

Nutrientes	<i>Populus tremuloides</i> kg/ha	<i>Pinus taeda</i> kg/ha
N	358	257
P	56	31
K	324	165
Ca	720	187
Mg	77	46

Os autores chegaram à conclusão que, no caso citado, as necessidades nutricionais do *Populus tremuloides* foram duas vezes maiores que as necessidades de *Pinus taeda*.

Dados preliminares, por nós obtidos no Brasil, com pinheiros tropicais, vêm confirmar em grande parte as idéias expressas por SWITZER & NELSON (1976), quanto à menor exigência nutricional dos pinheiros.

CASTRO & POGGIANI (1979) em trabalho de quantificação de biomassa de *Pinus oocarpa* em diferentes idades, mostram que a fitomassa arbórea, aos oito anos de idade, corresponde a 106 toneladas por hectare, num talhão cuja densidade arbórea é de aproximadamente 1000 árvores por hectare. Este valor é bastante próximo do obtido em talhões de *E. saligna*, também aos 8 anos de idade (vide tabela 2).

Devemos considerar, entretanto, que o solo onde cresce o *P. oocarpa* apresenta uma fertilidade mais baixa e nenhum adubo foi adicionado por ocasião do plantio.

POGGIANI (dados preliminares) estudando a fitomassa e a distribuição de nutrientes de *Pinus caribaea hondurensis*, aos 14 anos, encontrou os valores expressos na tabela 4, com respectivas porcentagens de distribuição de fitomassa e nutrientes.

**TABELA 4.** Fitomassa arbórea (t/ha) e macronutrientes contidos num talhão de *Pinus caribaea hondurensis* aos 14 anos de idade (1000 árvores/ha)\*

	Fitomassa (t/ha)	%	Macronutrientes (kg/ha)	%
Copa	30,00	14%	335,00	40%
Fuste	187,00	86%	508,00	60%
Árvore total	217,00	100%	843,00	100%

Os resultados evidenciam que os pinheiros, mesmo crescendo em solos de baixa fertilidade, têm uma elevada capacidade de produzir biomassa, exportando ao final da rotação uma menor quantidade de nutrientes por kg de fitomassa produzida (Tabela 5).

**TABELA 5.** Exportação de nutrientes (g) por kg de fitomassa produzida por algumas espécies arbóreas, em diferentes idades e locais no estado de São Paulo e Minas Gerais.

Espécie		Fitomassa kg/ha	Nutrientes kg/ha	Nutrientes (g) por kg de fitomassa produzida
<i>E. saligna</i> 8 anos 1300 árv/ha	árv. total	132,00	762	5,7
	fuste	117,00	574	4,9
<i>E. grandis</i> 4 anos 1300 árv/ha	árv. total	57,000	565	9,9
	fuste	42,00	181	4,3
<i>E. grandis</i> 2,5 anos 5400 árv/ha	árv. total	99,000	792	8,0
	fuste	83,000	406	4,8
<i>P. caribaea hondurensis</i> 14 anos 1000 árv/ha	árv. total	217,000	843	3,8
	fuste	187,000	508	2,7

\* Dados preliminares obtidos em talhões da CIA. AGRO FLORESTAL MONTE ALEGRE (SP) pelo Setor de Ecologia Florestal do D.S. da ESALQ/USP. (Projeto de Pinheiros Tropicais BNDE/USP).

A utilização de pinheiros tropicais em áreas de cerrado apresenta-se, portanto, como uma alternativa muito promissora, tendo em vista a grande quantidade de fitomassa produzida e a menor quantidade de nutrientes exportados.

No caso de *Pinus*, os desbastes podem fornecer quantidades apreciáveis de fitomassa para fins energéticos, enquanto que as melhores árvores podem ser utilizadas para fins mais nobres.

A tabela 5, deixa evidente que, do ponto de vista da “economia de nutrientes”, as rotações longas são mais indicadas do que as rotações curtas e que a exploração (apenas dos fustes), reduz grandemente a exportação de nutrientes do “site”. Melhor seria, ainda, se a casca das árvores fosse deixada no campo, por ocasião da exploração, visto que possui um teor bastante elevado de alguns nutrientes, principalmente fósforo e potássio que são elementos carentes na maioria dos solos brasileiros. A devolução das cinzas ao solo, após a queima da fitomassa nas caldeiras, deve ser uma alternativa a ser estudada.

#### 4. O SOLO COMO “CAIXA” DA CICLAGEM DE NUTRIENTES DO ECOSSISTEMA FLORESTAL.

Os solos tropicais apresentam, em sua grande maioria, baixa fertilidade. Conseqüentemente, as florestas plantadas de alto rendimento, quando manejadas de forma inadequada podem extrair grandes quantidades de nutrientes, acarretando a subsequente queda de produtividade do “site”, a menos que pesadas adubações sejam efetuadas.

Na verdade, durante os curtos períodos que caracterizam as atuais rotações florestais, poucos nutrientes podem ser incorporados ao ecossistema florestal, via precipitação. Para confirmar este fato ainda não possuímos dados coletados nos locais de nossas experimentações. Observações feitas por *JORGENSEN et alii* (1975) no Sul dos Estados Unidos, em regiões florestadas com *Pinus taeda*, assinalam uma entrada anual de nutrientes através da precipitação nas seguintes proporções por hectare/ano: 5,5 kg de Nitrogênio, 0,2 kg de fósforo e 1,5 kg de Potássio.

Por outro lado, os nutrientes em forma de ions trocáveis existem em quantidades muito baixas nos solos usualmente utilizados para o reflorestamentos. Um levantamento por nós efetuado mostra que um hectare de solo de cerrado, no centro do Estado de São Paulo, contém até a profundidade de 150 centímetros, as seguintes quantidades de elementos disponíveis para as árvores: 18 kg de P, 127 kg de K, 480 gk de Ca e 291 kg de Mg.

Comparando estes números com as quantidades de elementos exportados (vide tabela 1 e 2), é fácil concluir da necessidade de certos cuidados no manejo e na exploração florestal, para conservar a produtividade do “site” nas rotações seguintes.

#### 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os nutrientes são necessários para o crescimento das árvores. Conseqüentemente, se grandes quantidades de elementos químicos são removidos do “site” através da exploração da fitomassa, uma adubação adequada torna-se indispensável para que a floresta continue crescendo com a intensidade prevista.

Os dados apresentados evidenciam bem, que a utilização dos chamados “resíduos florestais” implica num acréscimo de quase 100% na exportação de nutrientes. As operações de queimada e de exploração com máquinas, podem abaixar ainda mais a

qualidade do "site", com a perda quase total do nitrogênio, erosão e compactação do solo. Isto significa que quantidades cada vez maiores de fertilizantes serão necessárias para manter produtividades elevadas, com sensível aumento dos custos. Todavia é este também um problema econômico no qual não nos cabe entrar neste artigo. Do ponto de vista ecológico, o ideal seria que as florestas fossem manejadas de forma tal, que as retiradas de fitomassa não sobrepujassem a capacidade natural do "site" em fornecer nutrientes. Deve ser estabelecido, portanto, uma produtividade ótima para cada "site", através de um minucioso estudo relacionado com a movimentação de nutrientes no ecossistema.

As adubações, que hoje já são processos caros, deveriam ser usadas apenas para aqueles elementos realmente limitantes do crescimento das árvores. Conseqüentemente, e cada vez mais vital o encaminhamento de programas de pesquisas destinados a avaliar rigorosamente as potencialidades dos solos para as diferentes espécies florestais.

Cabe ao silvicultor e ao empresário esclarecido, estimular em suas áreas de reflorestamento, não apenas pesquisas de caráter imediato, mas também estudos básicos de amplo alcance, que possam dar uma visão real da evolução das florestas implantadas e do patrimônio que será entregue às gerações futuras.

## 6. BIBLIOGRAFIA

*CASTRO, C.F. de A. & POGGIANI, F.* – Quantificação da biomassa arbórea em talhões de *Pinus oocarpa* com diferentes idades. Boletim Informativo. Projeto de Pinheiros Tropicais. ESALQ/DS. Piracicaba, 1 (7): 1-11, dez.1979.

*JORGENSEN, S.R.; WELLS, C.G. & METZ, L.J.* – The nutrient cycle: key to continuous forest production Journal of forestry, Washington 73(11): 400-5, nov.1975.

*POGGIANI, F.; COUTO, H.T.Z. do & SIMÕES, J.W.* – Aspectos ecológicos das minirotações e do aproveitamento dos resíduos florestais. Circular técnica. IPEF, Piracicaba (74): p.1-7; 1979.

*PRITCHETT, W.L.* – Properties and management of forest soils. New York, John Wiley, 1979, p.189-208.

*SWITZER, G.L.; NELSON, L.E. & SMITH, W.H.* – The mineral cycle in forest stands. In: Forest Fertilization: theory and practice. Tennessee Valley. Authority Knoxville, 1968, p.1-9.