

CICLOS DA MATÉRIA ORGÂNICA
E DOS NUTRIENTES EM AGROSSISTEMAS
COM CACAUEIROS

H.W. Fassoender¹
L. Alpizar²
J. Heuveldop³
G. Enriquez⁴
H. Fölster⁵

O MODELO DOS CICLOS

Na última década, têm sido enfatizadas técnicas de modelagem de energia, elementos químicos, matéria orgânica e água em sistemas de produção agrícola tanto em regiões temperadas como dos trópicos (Clark & Rosswall, 1981; Frisell, 1978 e Robertson et alii, 1982). O desenvolvimento de modelos matemáticos têm permitido não somente descrever a situação atual dos sistemas pesquisados, como também, através de técnicas de simulação projetar o seu comportamento futuro.

A utilização de modelos para a matéria orgânica e nutrientes em ecossistemas florestais tropicais foi descrito no capítulo anterior, com base em resultados obtidos em diferentes ecossistemas da América Latina, especialmente no Brasil, Venezuela, Colômbia, Jamaica e Porto Rico. Os conceitos apresentados para as florestas primárias são geralmente aplicados em sistema de produção agrícola com cultivos perenes. Renovando-se neste caso a floresta, mediante utilização de uma vegetação permanente adaptada às condições edafo-climáticas da região e, estabelecendo assim um ciclo interno dos nutrientes e da matéria orgânica.

No caso de rotações múltiplas, com intercultivos ou plantas que exigem sombreamento, ocorrem múltiplas interações entre as espécies envolvidas nesse sistema de produção. O cacau (*Theobroma cacao* L.) é uma

- 1- Professor, Faculdade Técnica Florestal, 3400 Göttingen, Alemanha
- 2- Estudante de graduação, Faculdade de Ciências Florestais, Göttingen, Alemanha.
- 3- Coordenador do Projeto Agroflorestal CATIE/GTZ/RNR, CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- 4- Especialista em cacau, CATIE, Turrialba, Costa Rica
- 5- Professor, Faculdade de Ciências Florestais, Göttingen, Alemanha.

planta esciófita, ou seja, necessita de sombreamento na fase de desenvolvimento ou para atenuar aspectos ambientais desfavoráveis (vento e solos pobres). As árvores de sombra proporcionam a este cultivo vantagens e desvantagens (Alvim, 1977; Salas & Fassbender 1981; Hardy 1961; Havord 1959; Enriquez 1983; Murray 1966 e Urquhart 1963). As interações mais importantes entre as espécies de sombra e o cacauero relacionam-se com a competição por água, luz e nutrientes. Nos cacauais (de matas primárias), o sombreamento com árvores nativas (raleamento de matas primárias), o sombreamento provisório (na fase de desenvolvimento) e o sombreamento definitivo (Hardy 1961 e Enriquez 1983). Segundo Enriquez, 1983 as plantas mais freqüentemente utilizadas para sombra na América Latina são: *Casipoua guianensis*, *Colocasia esculenta*, *Carica papaya*, *Canavalia* sp., *Elemia vestita*, *Manihot esculenta*, *Musa* spp., *Ricinus communis* no caso de sombreamento provisório e *Albizia* sp., *Cedrella odorata*, *Cocos nucifera*, *Cordia alliodora*, *Erythrina* spp. no caso de sombreamento permanente. Destacam-se também como árvores de sombras definitivas: *Anacardium occidentale*, *Artocarpus communis*, *Citrus* sp., *Persea americana*, *Calocarpum mammosum*, *Bertholletia* sp., *Spondias* sp., *Terminalia catappa* e *Inga* sp. A utilização destas espécies é bastante variável nas diferentes regiões e países produtores de cacau, porém são em geral utilizadas árvores leguminosas que além de enriquecerem o sistema pela fixação simbiótica de nitrogênio, contribuem com uma quantidade elevada de resíduos que aumentam a cobertura (mulch) do solo. O gênero *Erythrina* é amplamente utilizado como sombra, sendo *E. poeppigiana* correntemente denominada "poró gigante", "madre del cacaoero", "bucare", "anauca", "cachimbo", e é possivelmente a espécie mais difundida.

Baseado em modelo do ciclo da matéria orgânica e nutrientes, em ecossistemas florestais tropicais, é proposto um modelo para cultivo de cacau sob sombreamento de eritrina (Figura 1), intercalado com bananeira, que contribui para manter populações de insetos polinizadores da flor do cacauero.

Os componentes do sistema são agrupados em: 1) Abióticos/representados pelo solo mineral (com seus diferentes horizontes) e o folheto (com os restos vegetais em decomposição) e 2) Bióticos onde se relacionam as espécies envolvidas e suas respectivas estruturas (folhas, ramos, caules, raízes, flores e frutos). De maneira a simplificar o modelo, não serão considerados os componentes bióticos faunísticos. Como fontes de ingresso são consideradas as chuvas que transportam os elementos químicos que ingressam no sistema através da água, bem como, a adubação e a fixação biológica de nitrogênio. A saída de elementos ocorre através das colheitas (frutos e madeira) e da água de percolação que os leva aos lençóis freáticos.

As interações que se processam entre os componentes do sistema são consideradas fenômenos dinâmicos de transformação da matéria, pela deposição de resíduos vegetais produzidos naturalmente ou pelo manejo do sistema, onde se considera a poda das árvores de sombra. Pela humificação e mineralização, componentes orgânicos e minerais do folheto são transferidos para o solo mineral, de onde são retiradas as quantidades de nutrientes exigidas pelos componentes bióticos.

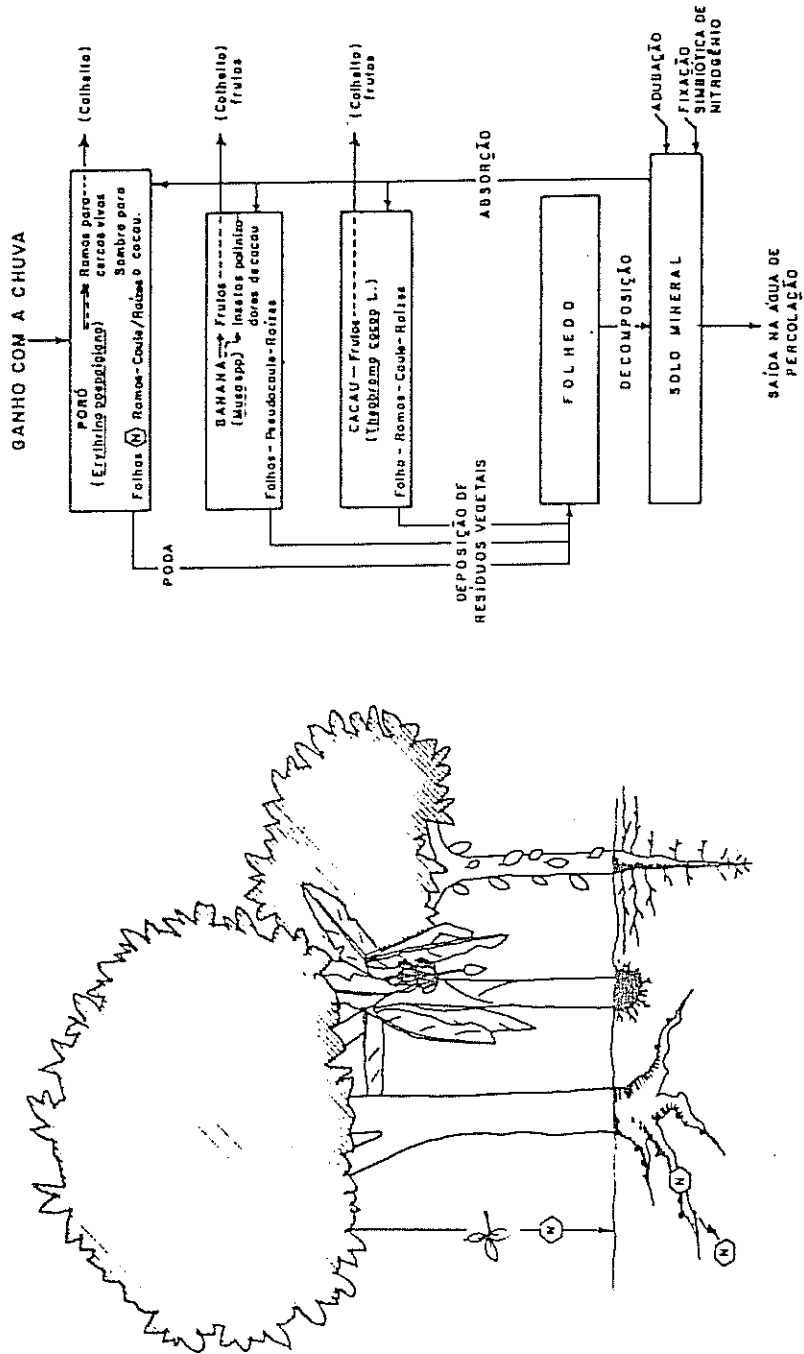


FIGURA 1 - Esquema básico do modelo da matéria orgânica e dos nutrientes em plantações de cacau.

Modelos deste tipo quase não têm sido aplicados a cultivos permanentes tropicais. No caso do cacau, são conhecidas pesquisas parciais de modelos de matéria orgânica e/ou nutrientes (Aranjuren et alii, 1982; Alpizar et alii, 1983; Boyer, 1973; Santana & Cabala, 1982 e 1984), que serão descritos e discutidos no presente trabalho.

CICLO DA MATÉRIA ORGÂNICA

Experimentos do Catie com Cacau

O conhecimento gerado está ligado ao Centro Experimental CATIE (Centro Agronômico Tropical de Investigación y Enseñanza), onde são comparados a longo prazo diferentes sistemas agrícolas (Enriquez, 1979) e onde, desde 1981, são conduzidas pesquisas dentro do projeto Agroflorestal da CATIE/GTZ (Sociedade Alemã de Cooperação Técnica) (Alpizar et alii, 1983).

Entre os experimentos pesquisados, consideraram-se as associações cacau-eritrina (*Erythrina porphyriana*) e cacau-loureiro (*Cordia alliodora*). Esse experimento obedeceu a delineamento experimental inteiramente ao acaso, onde as parcelas de 18 x 18m, repetidas quatro vezes foram instaladas em agosto de 1977, com cacauzeiros híbridos (Catonco x Pound) espaçadas de 3 x 3m (1111 plantas ha⁻¹) e com árvores de sombra no espaçamento de 6 x 6m (278 árvores ha⁻¹). Tanto as árvores de sombra como os cacauzeiros receberam 100g planta⁻¹ da formulação 10-30-10 que equivale a aplicar por hectare 13,9 kg de N e K₂O e 41,7 kg de P₂O₅. A partir de 1978 os cacauzeiros receberam anualmente quatro adubações de 150g planta⁻¹ da fórmula 18-10-6-5 (667 kg ha⁻¹) que equivale aplicar por hectare 120 kg de N; 67 kg de P₂O₅ (30,5 kg de P); 40 kg de K₂O (33,2 kg de K) e 33 kg de MgO (19,9 kg de Mg).

A região de Turrialba é caracterizada por apresentar temperaturas médias anuais de 22,3°C, com médias máximas de 27°C e médias mínimas de 17,7°C. A precipitação média anual corresponde a 2.647mm com 246 dias de chuva, sendo a umidade relativa média de 87,6%.

O solo do campo experimental pertence à série Instituto, fase normal, com topografia plana e apresentando drenagem deficiente a imperfeita, sendo de origem fluvial-lacustre. De conformidade com a análise de seu processo de evolução, a textura desses solos é franco argilosa, o pH é ácido (3,6 a 4,0), os teores de matéria orgânica variam de 4 a 5%, o nitrogênio total de 0,2 a 0,3% e fósforo total de 500 a 900 µg g⁻¹ de solo. As bases trocáveis são bem mais baixas do que a acidez trocável (H+Al). Esse solo foi classificado por Aquirre (1971), como um Typic Dystropept.

Em março de 1982 realizaram-se nas parcelas experimentais (4,5 anos de idade) as determinações da biomassa dos cacauzeiros e das eritrinas. O cálculo da biomassa do loureiro foi realizado em novembro de 1982 (5 anos de idade). A partir de novembro de 1981 avaliaram-se as produções de resíduos vegetais e os dados apresentados referem-se ao quinto ano

de cultivo. A produção do cacauzeiro foi computada a partir de junho de 1979 e os dados apresentados se referem ao quinto ano de cultivo. A produção de madeira de loureiro foi medida de fevereiro de 1979 a novembro de 1982. As eritrinas foram podadas pela primeira vez, em março de 1981 e, desde então, vem sendo repetida essa prática duas vezes ao ano, permanecendo essa biomassa nas parcelas com cobertura (mulch). Ocasionalmente o cacauzeiro é submetido a uma poda de limpeza.

Determinação da Produção de Biomassa

Os dados apresentados nas Figuras 2 e 3 baseiam-se na determinação das biomassas do cacauzeiro, eritrina e loureiro realizada nas parcelas experimentais. Para o cacauzeiro foram consideradas 16 plantas (4 por parcela) onde foram medidas as alturas e diâmetros (Paquímetro de Pressler) de caules e ramos de modo a obter-se o volume de madeira que multiplicado pela massa específica básica ($0,33\text{g cm}^{-3}$) permitiu obter a biomassa de cada espécie em kg ha^{-1} . Contaram-se os números de folhas por planta e colheram-se várias amostras (10 folhas) para determinação do teor de umidade mediante o que foi calculada a massa seca por planta e por hectare. Os dados de biomassa da eritrina foram obtidos através de medições de todos os caules das parcelas, determinando volume e massa específica básica ($0,24\text{g cm}^{-3}$). A biomassa de folhas e ramos baseou-se no material podado a 2,6m de altura (fevereiro e setembro de 1982), anotando-se a massa fresca total de oito plantas. As amostras colhidas foram secas em estufa e com teor de umidade calcularam-se as massas respectivas por hectare. A biomassa do loureiro foi avaliada mediante cálculos semelhantes aos anteriores e considerando-se a massa específica da madeira ($0,44\text{g cm}^{-3}$); determinando-se a biomassa de folhas e caules em 8 plantas.

Para a avaliação da biomassa das raízes utilizou-se um anel metálico (\varnothing 27,4 cm e 15 cm de altura), que foi introduzido no solo até 15 cm de profundidade, em 16 repetições. As raízes foram separadas do solo com água, e secas em estufa; a partir das massas registradas calculou-se a biomassa por hectare.

A matéria orgânica do folheto foi amostrada utilizando um quadro de madeira de $0,25\text{m}^2$, em 16 repetições. As amostras desse material em decomposição foram secas e a partir das massas foi determinada a quantidade por hectare. Em amostras do solo mineral retiradas nas profundidades 0-15; 15-30 e 30-45 cm foram determinados os teores de húmus e em função da sua massa específica (densidade aparente média de $1,40$ e $1,20\text{g cm}^{-3}$) calculou-se a reserva orgânica por hectare.

Nas amostras de biomassa determinaram-se os teores de N (Kjeldahl); P, K, Ca e Mg (digestão nitroperclórica). Nas amostras de solos determinaram-se as bases extraídas pelo acetato de amônio.

Os resultados obtidos estão sumariados nas Figuras 2 e 3 e evidenciaram as seguintes quantidades de matéria seca:

	Cacau - Loureiro		Cacau - Eritrina	
	kg ha ⁻¹			
Folhas	2.972	3.410	2.827	3.273
Ramos	4.043	4.746	3.030	9.314
Caule	2.804	23.711	2.505	9.318
Raízes finas		4.188		1.785
Subtotal				
Vegetação		45.874		32.052
Folheto		4.448		7.054
Solo mineral		168.063		198.363
Total sistema		218.385		237.469

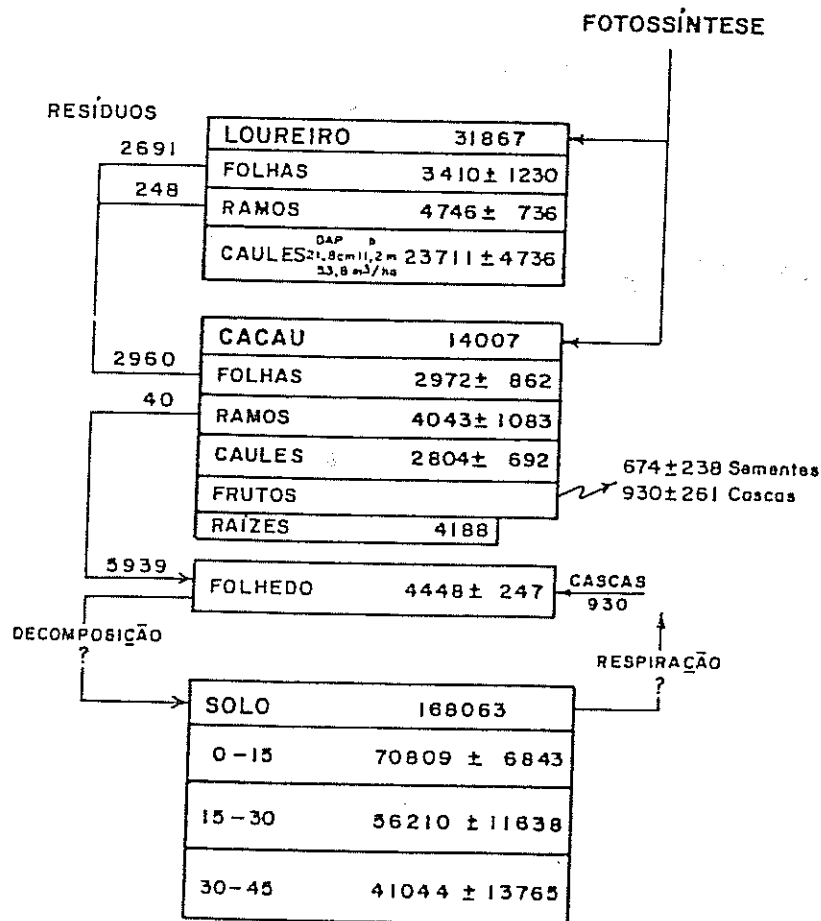


FIGURA 2 - Ciclo da matéria orgânica em cacauil sombreado por loureiro em Turrialba, Costa Rica.

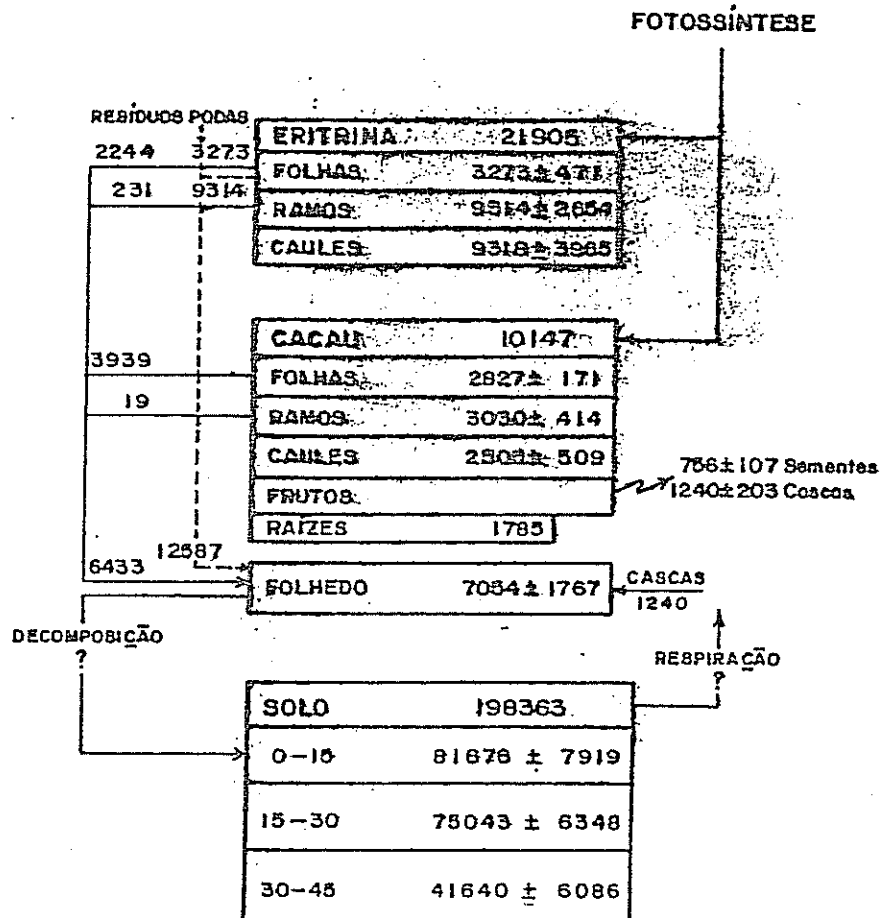


FIGURA 3 - Ciclo da matéria orgânica em cacaual sombreado por eritrina em Turrialba, Costa Rica.

O loureiro apresenta uma biomassa total de $31.867 \text{ kg ha}^{-1}$ sendo que 74% é constituído pelo caule, 15% pelos ramos e 11% pelas folhas. A eritrina apresenta uma biomassa total de $21.905 \text{ kg ha}^{-1}$ com uma distribuição para caule, ramos e folhas de 42,5%, 42,5% e 15% respectivamente. O cacaueiro sombreado com loureiro apresenta uma biomassa total de 9.819 kg ha^{-1} , dos quais os caules constituem 29%, os ramos 41% e as folhas 30%. A biomassa dos cacaueiros sombreados com eritrina corresponde a 8.362 kg ha^{-1} distribuída em 30, 36 e 34% para os caules, ramos e folhas respectivamente. A biomassa do cacaueiro é comparável nas diferentes associações e a acumulação de madeira do loureiro é bastante evidente. No solo não foi possível diferenciar as raízes das espécies constantes das combinações investigadas, sendo a biomassa da associação cacau-loureiro bem maior do que a da cacau-eritrina.

As reservas do folheto apresentam uma ligação entre as reservas bióticas e edafológicas. O folheto determinado na associação cacau-eritrina foi maior do que na de cacau-loureiro. As reservas no solo, são sem dúvida as mais importantes do sistema, pois decorreu do alto conteúdo de matéria orgânica e da acumulação biológica estabelecida antes do início do experimento.

Dados de biomassa de cacauzeiros em associações, não têm sido encontrados na literatura.

Produção de Cacau

Os dados de produção de cacau obtidos em quatro anos de cultivo (1979 a 1982) podem ser observados na Figura 4 e resumidamente evidenciaram os seguintes valores de biomassa seca:

	Cacau-Loureiro ----- kg ha ⁻¹	Cacau-Eritrina -----
Sementes	1.521	1.880
Cascas	1.430	2.189
Total	2.951	4.069

De modo geral as colheitas têm aumentado em função do tempo, porém, em 1981 ocorreu uma queda na produção de cacau na associação com o loureiro. As plantas do experimento encontram-se ainda na fase de desenvolvimento e seguramente, a estabilização da produção deverá ocorrer entre os 8 e 10 anos.

Os dados de produção de matéria seca em 1982, ano em que se estabeleceu o modelo da matéria orgânica, podem ser observados nas Figuras 2 e 3. A combinação com loureiro produziu 1.504 kg de massa seca ha⁻¹, enquanto que a combinação com eritrina produziu nesse ano 1.996 kg de massa seca por hectare.

Produção de Resíduos Vegetais

Para medir a caída natural dos resíduos vegetais que constituíram o folheto instalaram-se seis coletores (1m²) por tratamento. Os coletores em forma quadrada foram confeccionados em madeira com fundo de malha fina de fibra de vidro, sendo localizados a 10 cm do solo. As amostras foram coletadas a cada sete dias, separadas em folhas e ramos, secas, registradas suas massas, moídas e submetidas a análise química para determinação do (N, P, K, Ca e Mg).

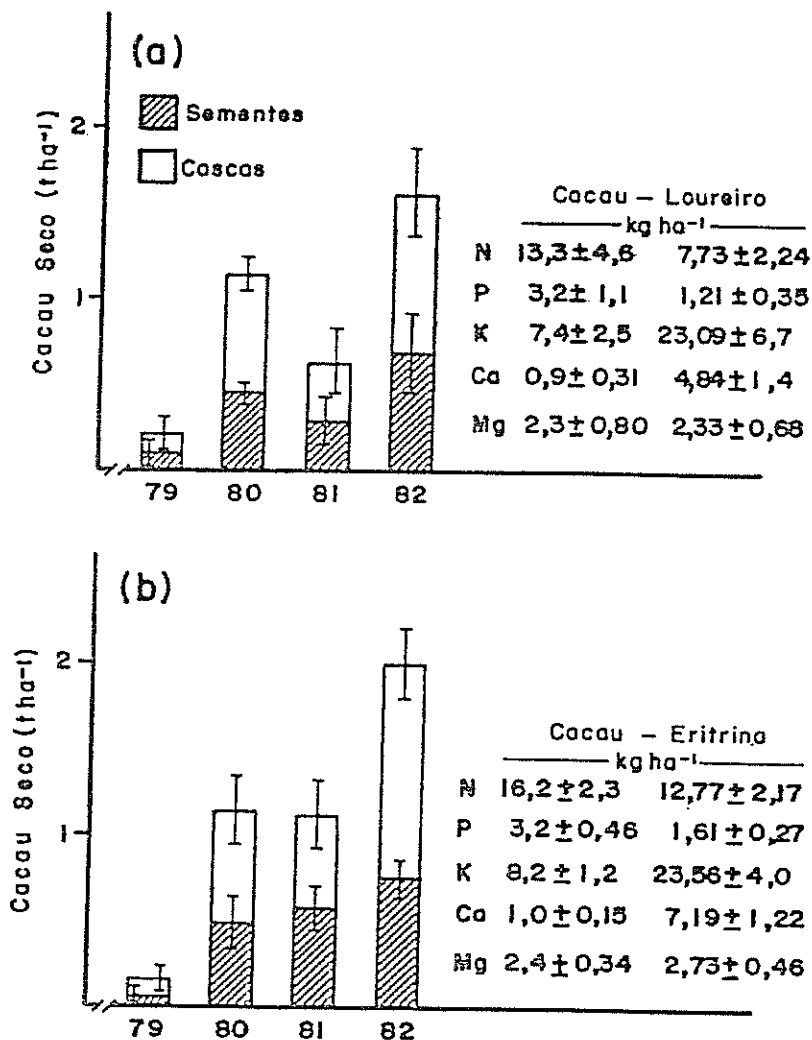


FIGURA 4 - Produção de cacau e remoção de nutrientes nas associações de cacauieiros com loureiro e eritrina no ano de 1982 (Alpizar et alii, 1983).

De acordo com as Figuras 2 e 3, as produções anuais dos resíduos vegetais na forma natural (caducifolia) alcançaram os seguintes valores:

	Cacau-Loureiro		Cacau-Eritrina	
	kg ha ⁻¹			
Folhas	2.980	2.692	3.939	2.244
Ramos	40	248	19	231 (pecíolos)

A diferenciação dos pecíolos da eritrina baseia-se no menor conteúdo de nutrientes, especialmente nitrogênio, quando comparado com o limbo.

Nos meses de março a junho ocorre um aumento na queda de folhas, provavelmente, devido à seca que provoca um déficit hídrico no solo, que leva as plantas a uma queda anormal de folhas.

No Quadro 1, encontram-se resumidos os dados encontrados na literatura sobre a produção de resíduos vegetais na cultura do cacau com e sem sombra e sob diferentes associações. A produção de folhedos encontrada é muito divergente, oscilando entre 5,2 a 20,8 t ha⁻¹ ano⁻¹. Isto decorre provavelmente das características intrínsecas dos locais, da densidade e idade das plantas.

Produção de Resíduos de Podas e Colheitas

No caso de cacau associado com eritrina, o material proveniente da poda deposita-se no solo e contribui para enriquecer a cobertura do solo. Os valores anuais encontrados para as podas constam da (Figura 3) e correspondem a 9,3 e 3,2 t ha⁻¹ ano⁻¹, para os ramos e folhas, respectivamente. Considerando que os resíduos de colheita que caem no solo correspondem a 1.240 kg ha⁻¹ ano⁻¹, tem-se um valor global de resíduos depositados no sistema cacau-eritrina de 20.260 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Os resíduos de colheita no sistema cacau-loureiro produz 930 kg ha⁻¹ ano⁻¹, totalizando uma deposição anual no solo de 5.689 kg de matéria seca.

Produção dos Resíduos Vegetais

A decomposição dos resíduos vegetais que caem no solo pode ser avaliada pela perda de peso, em curto espaço de tempo, determinada em amostras desses materiais mantidas em condições de campo. Só existem dois trabalhos a este respeito para plantas de cacau. De acordo com Santana e Cabala (1984) a decomposição é uma função logarítmica do tempo de exposição tanto para os resíduos dos cacauzeiros quanto os de eritrina. Esses autores encontraram as seguintes funções exprimindo o processo de decomposição:

	Cacau	Eritrina
Folhas	$Y = 98,40 - 22,15 \ln t$	$Y = 98,24 - 26,79 \ln t$
Ramos	$Y = 100,75 - 23,03 \ln t$	$Y = 95,22 - 22,15 \ln t$
Cascas	$Y = 96,03 - 22,80 \ln t$	

Segundo Arançuren et alii (1982) a decomposição de folhas de cacau é mais rápida do que as das folhas de árvores de leguminosas de sombra; assim os restos das folhas de cacau desaparecem aos quatro meses enquanto que os de árvores de sombra necessitam nove meses. Com base nestes dados é possível calcular as taxas de decomposição dos resíduos e translocação da matéria orgânica e dos nutrientes para o solo mineral.

TABELA 1 - Valores comparativos de produção natural de folhido em cacauais de diferentes países.

Autor	Local	Sistemas	Plantas ha ⁻¹		Idade(anos)	Materia seca total		Nutrientes (g ha ⁻¹)					
			Cultivo	Sombra		Cultivo	Sombra	N	P	K	Ca	Mg	
Aranguen, Escalante & Herrera (1982)	Quince de la Costa ao norte de Caracas, Venezuela, 12 als. s.n.s.	Cacau + <i>Erythrina</i> sp. + <i>Castilloa</i> altillica + <i>Azlocarpus altillis</i> + outros	947	566	30	29849	320	-	-	-	-	-	-
Boyer (1973)	Camargões	Cacau + árvores de sombra	-	-	-	8445	52	4	38	89	28	-	-
Alpizar et alii (1983)	CATIE, Turrialba Costa Rica	Cacau sem sombra Cacau + <i>Erythrina</i> poeppigiana	1111	278	5	6405	115,8	6,4	48,2	116,1	48,6	-	-
Alpizar et alii (1983)	CATIE, Turrialba Costa Rica	Cacau + <i>Cordia</i> alliodora	1111	279	5	5940	94,7	10,9	57,4	180,3	43,3	-	-
Santana & Cabala (1984)	CEPLAC, Itabuna Brasil	Cacau - 1 ^o ano + <i>Erythrina</i> fusca - 2 ^o ano	1111	40	17	8146	143,0	13,0	34,4	186,7	43,2	-	-
Granados (1972)	CATIE, Turrialba Costa Rica	Cacau + <i>Erythrina</i>	1111	40	17	5994	81,0	13,9	17,4	142,5	42,3	-	-
		Solo Reventazón				8052	-	-	-	-	-	-	-
		Solo Instituto				8661	-	-	-	-	-	-	-
		Solo La Margot				5227	-	-	-	-	-	-	-

1 - Sobre o nível do mar

Modelos do Ciclo da Matéria Orgânica

Nas Figuras 2 e 3 constam os modelos da matéria orgânica para cacaueiros associados com loureiro (*Cordia alliodora*) e eritrina (*Erythrina poeppigiana*) em Turrialba, Costa Rica. Os dados relativos às reservas orgânicas correspondem a um período de 4,5 anos enquanto que os dados de transferência correspondem ao quinto ano de cultivo.

As associações consideradas mostraram características bastante diferentes no ciclo da matéria orgânica. A matéria orgânica acumulada nesse período (4,5 anos) de cultivo sobre o solo atingiu $50,2 \text{ t ha}^{-1}$, na associação cacau-loureiro e $39,1 \text{ t ha}^{-1}$ na associação cacau-eritrina. Essas diferenças decorrem essencialmente das massas dos caules das árvores de sombra (loureiro = $23,7 \text{ t ha}^{-1}$ e eritrina $9,3 \text{ t ha}^{-1}$) e em menor grau também das raízes. Para o cacau os valores de biomassa são semelhantes. Com esses dados, pode ser estimada a produção primária líquida do sistema de produção, sendo necessário indicar que o cultivo se encontra ainda em fase de desenvolvimento e que ocorrem diferenças entre as reservas acumuladas nos primeiros anos. Todavia a produção líquida primária corresponde a $11,2 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para a associação cacau-loureiro e $8,7 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para a associação cacau eritrina durante a fase experimental.

A produção de cacau apresentou um comportamento diferente, alcançando 2.950 kg ha^{-1} para o cacau-loureiro e 4.069 kg ha^{-1} para o cacau-eritrina nos quatro anos.

A dinâmica do sistema cacau-eritrina, expressa pela transferência de restos vegetais naturais para o folheto, num total de $7.673 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ é mais acelerada que a do sistema cacau-loureiro em que atingiu $6.869 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Se for considerada a deposição de resíduos a partir do material de poda e das colheitas, tem-se para o sistema cacau-eritrina um total de $20.260 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de material de decomposição no folheto. Embora sem ter determinado as taxas de decomposição dos resíduos, pode-se supor com base nos resultados de Santana e Cabala (1984) e de Aranuren et alii (1982), que a decomposição ocorrerá em menos de um ano, prevendo-se uma taxa de decomposição, no mínimo, comparável à taxa de deposição. A partir dessa taxa de decomposição, resultante dos processos de mineralização tem-se a liberação de nutrientes que passam para a solução do solo e através do processo de humificação, as substâncias húmicas que passam ao solo mineral. As perdas por respiração não têm sido determinadas, porém de acordo com Granados (1972), baseado em medidas de respiração de resíduos na associação cacau-eritrina na condição de Turrialba, o metabolismo dos resíduos é elevado e da ordem de $139 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ de solo dia}^{-1}$.

As diferenças entre as quantidades de matéria orgânica encontradas nos solos minerais das parcelas, $198,4$ e $168,1 \text{ t ha}^{-1}$ para cacau-loureiro e cacau-eritrina, respectivamente, são resultantes da acumulação de material húmico proveniente do manejo e formação do solo, antes de se iniciar o experimento.

CICLO DO NITROGÊNIO

Reservas e Transferências de Nitrogênio

Para calcular as quantidades de nitrogênio acumuladas nos diferentes compartimentos do sistema de produção do solo é necessário conhecer as reservas de matéria orgânica e seu respectivo conteúdo. No Quadro 2 são apresentadas as concentrações de nitrogênio (%) nas diferentes partes das associações investigadas. Os detalhes das reservas de nitrogênio no sistema cacauzeiro-loureiro e cacauzeiro-eritrina em Turrialba, Costa Rica, podem ser visualizados nas Figuras 5 e 6; os valores obtidos em Monastério, na Venezuela, são apresentados em detalhe na Figura 7.

Em função da relação C/N dos solos, se encontra um paralelismo entre as reservas de matéria orgânica e as de nitrogênio total nos solos pesquisados; assim, as parcelas com eritrina alcançaram valores mais altos (9556 kg ha^{-1}), que as sombreadas com loureiro (7292 kg ha^{-1}).

A diferenciação entre as associações não é considerável. No sistema de cacau-eritrina foram encontrados 365 kg ha^{-1} e em cacau-loureiro 332 kg ha^{-1} , dos quais 103 e 99 kg ha^{-1} correspondem somente aos cacauzeiros em cada caso.

Os cacauzeiros apresentaram reservas menores do que aquelas (302 kg ha^{-1}) assinaladas por Aranguren et alii (1982); esse fato pode ser atribuído à idade da plantação de Monastério, Venezuela (30 anos). As reservas de nitrogênio em cacauzeiros de 30 anos em Camarões apresentaram somente 44 kg ha^{-1} (Boyer, 1973).

A transferência de nitrogênio pelos resíduos vegetais difere bastante nos tratamentos considerados em Turrialba. Os resíduos das podas contribuem no sistema cacau-eritrina com $328 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ mas no caso da associação cacau-loureiro contribui somente com $95 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Os valores encontrados para as condições da Venezuela e em Camarões correspondem a 320 e $53 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, respectivamente. Nas pesquisas conduzidas por Santana e Cabala (1984) em Itabuna, Brasil, em cacauzeiros de 17 anos e sombreados com *Erythrina fusca* as quantidades de nitrogênio corresponderam a 143 e 81 kg ha^{-1} no primeiro e segundo ano de observações. Segundo Aranguren et alii (1982) as cascas dos frutos que permanecem na área implicam em nova fonte de nitrogênio, cuja taxa de decomposição é elevada (Santana & Cabala, 1984).

As perdas ou exportações de nitrogênio do sistema com a colheita são relativamente pequenas e oscilam entre 17,7 e $45,0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ nas diferentes condições investigadas.

Modelos do Ciclo de Nitrogênio

Nas Figuras 5 a 7 são apresentados os modelos referentes ao ciclo do nitrogênio, considerando-se os diferentes graus de informação constantes das diferentes pesquisas que exigiram realizar em separado tanto a apresentação como a discussão.

QUADRO 2 - Concentrações de nutrientes nas diferentes partes do cacau em Turrialba, Costa Rica.

	BIOMASSA VIVA, CACAUEIROS-LOUREIROS														
	Folhas		Ramos		Caudes		Raízes		Frutos		RESÍDUOS VEGETAIS				
	Cac.	Lour.	Cac.	Lour.	Cac.	Lour.	Cac.+Lour.	Cac.	Lour.	Casca	Sementes	Folhas	Ramos		
	Cac.	Lour.	Cac.	Lour.	Cac.	Lour.	Cac.+Lour.	Cac.	Lour.	Cac.	Lour.	Cac.	Lour.		
N	1,88	2,79	0,31	0,91	0,37	0,40	0,92	0,83	1,94	0,83	1,94	1,15	2,12	0,90	1,31
P	0,12	0,24	0,13	0,19	0,13	0,05	0,10	0,13	0,46	0,13	0,46	0,10	0,28	0,26	0,12
K	1,04	2,28	1,14	1,18	0,78	0,46	0,51	2,48	1,08	2,48	1,08	0,80	1,18	1,15	0,60
Ca	1,40	1,72	1,16	0,46	0,40	0,54	1,06	0,52	0,13	0,52	0,13	1,66	2,09	1,33	1,04
Mg	0,54	0,82	0,32	0,26	0,46	0,17	0,33	0,25	0,34	0,25	0,34	0,67	0,80	0,70	0,54

	BIOMASSA VIVA, CACAUEIROS-ERITRINAS														
	Folhas		Ramos		Caudes		Raízes		Frutos		RESÍDUOS VEGETAIS				
	Cac.	Erit.	Cac.	Erit.	Cac.	Erit.	Cac.+Erit.	Cac.	Erit.	Casca	Sementes	Folhas	Ramos		
	Cac.	Erit.	Cac.	Erit.	Cac.	Erit.	Cac.+Erit.	Cac.	Erit.	Cac.	Erit.	Cac.	Erit.		
N	2,08	3,10	1,04	1,19	0,50	0,54	1,23	1,03	2,14	1,03	2,14	1,35	2,64	1,42	1,31
P	0,12	0,24	0,13	0,14	0,10	0,06	0,13	0,13	0,42	0,13	0,42	0,07	0,15	0,18	0,09
K	0,56	1,30	0,64	1,33	0,56	0,76	0,99	1,90	1,06	1,90	1,06	0,68	0,51	1,45	0,72
Ca	1,28	1,63	1,25	1,24	0,84	0,72	1,08	0,58	0,13	0,58	0,13	1,74	1,90	1,64	1,97
Mg	0,34	0,49	0,20	0,42	0,32	0,24	0,26	0,22	0,31	0,22	0,31	0,71	0,48	0,46	0,75

Cac. = Cacau

Lour. = Louristro

Erit. = Eritrina

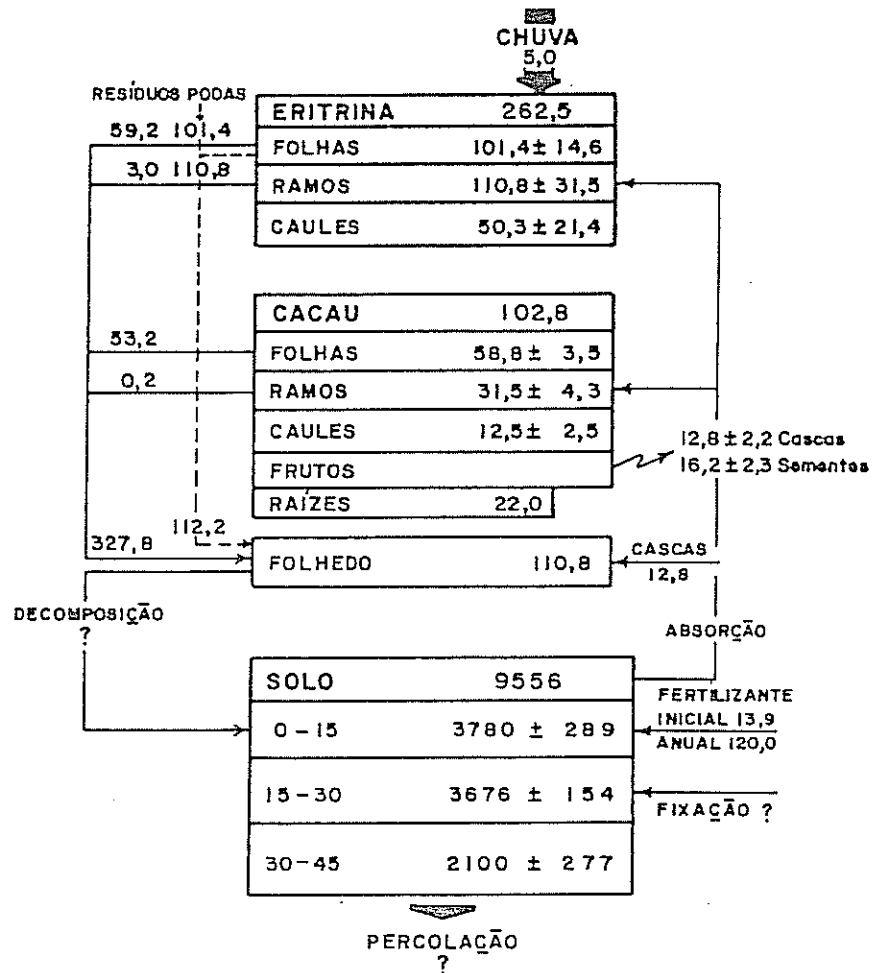


FIGURA 5 - Ciclo do nitrogênio em cacaual sombreado com eritrina em Turrialba, Costa Rica.

Nos cacauais de Turrialba, foram considerados como fontes de ingresso (input), as chuvas ($5 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$), a adubação ($120 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$) e a fixação simbiótica do nitrogênio, que não foi dimensionada até o momento. Como fontes de perdas (output), consideraram-se a produção de sementes ($13,3$ e $16,2 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ para as associações com loureiro e eritrina) bem como lixiviação de nitrogênio para os lençóis freáticos, ainda em fase de avaliação. Os outros processos de transferência podem ser considerados como internos, indicando os acúmulos na biomassa um aumento no nitrogênio armazenado no sistema. No período de cinco anos acumularam-se na biomassa e no folheto um total de 408 e 475 kg ha^{-1} desse elemento respectivamente, nos sistemas cacau-loureiro e cacau-eritrina.

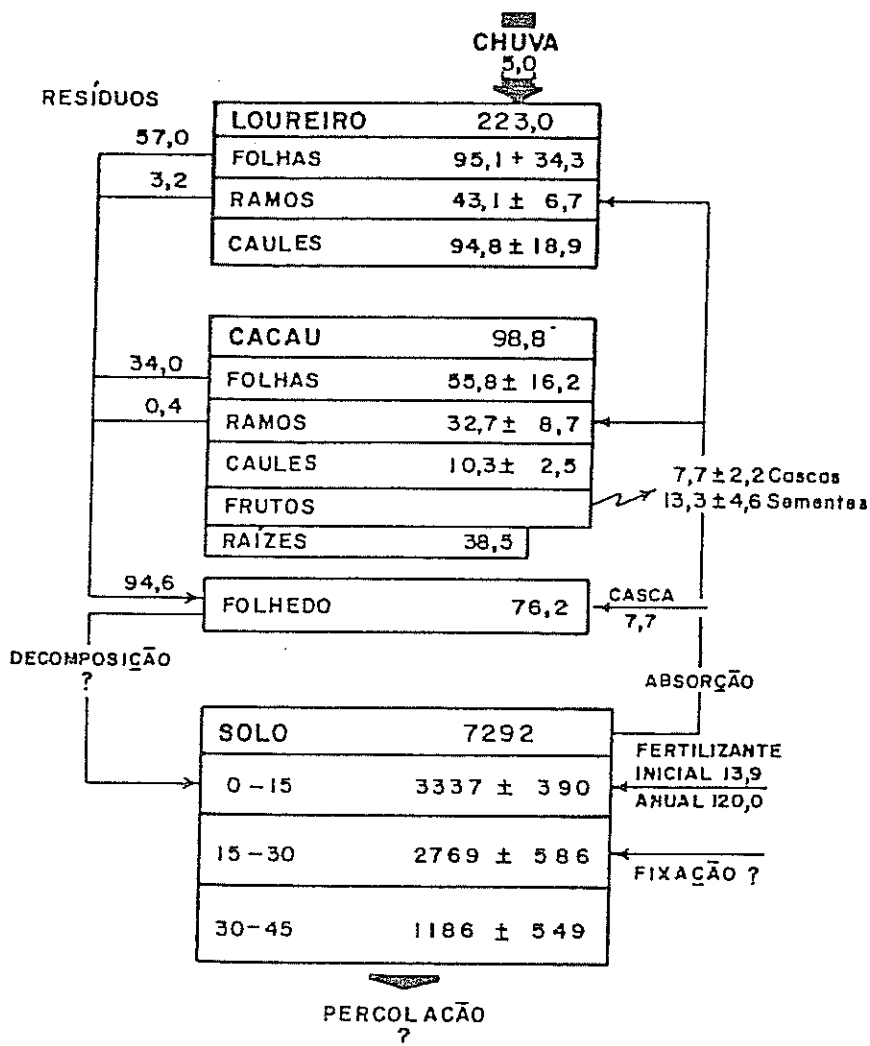


FIGURA 6 - Ciclo do nitrogênio em cacaual sombreado com loureiro em Turrialba, Costa Rica.

Desse modo, as reservas nas folhas, raízes finas, frutos e em partes dos ramos são recicladas no sistema através de processos de formação do folheto. Somando o nitrogênio contido nos resíduos, que se decompõem no decorrer de um ano e aquele contido na adubação, conclui-se que o cultivo do cacauero tem recebido elevadas quantidades desse

Nas plantações de cacauzeiros sem sombra de leguminosas em Monastério, Venezuela (Aranguren et alii, 1982) tem-se um sistema sem fertilização e os processos de acumulação e transferência de nitrogênio representam em forma mais indicativa as interações entre os componentes do sistema (Figura 7). Como fonte de entrada consideram-se a chuva ($11 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$) e a fixação simbiótica, ainda não dimensionada. Como veículos de perda, consideram-se a produção de sementes ($25 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$) e a lixiviação que também não foram determinadas.

As reservas de nitrogênio no solo são elevadas ($34.520 \text{ kg ha}^{-1}$) e a longo prazo (30 anos) tem-se uma acumulação bastante elevada nos cacauzeiros (302 kg ha^{-1}) e nas árvores leguminosas cuja biomassa se desconhece, embora se saiba que são elevadas as concentrações de nitrogênio nos ramos e folhas.

A dinâmica do nitrogênio nestas plantações de cacauzeiros se caracteriza pela produção e decomposição dos resíduos vegetais que fornecem $340 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ desse elemento. Este valor é praticamente quatorze vezes maior que a exportação de nitrogênio através das sementes de cacau.

Nas condições dos Camarões conforme descrito por Boyer (1973) observa-se que também, as quantidades de nitrogênio nos resíduos ($52,5 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$) ultrapassam as necessidades da produção ($24,0 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$).

O Quadro 3, mostra o conteúdo de nutrientes nas sementes e cascas de frutos avaliado em diferentes regiões produtoras de cacau. Observa-se um valor médio de $21,6 \text{ kg}$ de nitrogênio por tonelada de sementes, sendo o intervalo de variação bastante pequeno, pois os valores oscilam entre $20,0$ e $24,0 \text{ kg t}^{-1}$. Considerando um rendimento médio elevado de $1.000 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ de sementes de cacau, tem-se uma necessidade de nitrogênio de $21,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. As produções médias nacionais anuais por hectare alcançam valores mais baixos. Segundo Enriquez (1979) para a safra de 1978/79 obtiveram-se os valores: Brasil 645 kg ; Colombia 478 kg ; República Dominicana 364 kg ; Equador 382 kg ; Venezuela 258 kg . Baseados nos valores encontrados sobre a dinâmica das plantações acima mencionados, tem-se geralmente, uma disponibilidade de nitrogênio adequada nos sistemas de produção. Sem dúvida alguma há necessidade de planejar as plantações de cacauzeiros em solos adequados, estabelecendo as associações convenientes e o manejo apropriado do sistema. Também é preciso indicar a necessidade de pesquisas integradas nos sistemas de produção conforme descrito no presente trabalho.

CICLO DO FÓSFORO

Reservas e Transferências de Fósforo

Dados de reservas e transferências de fósforo em cacauais restringem-se somente às associações com loureiro e eritrina no experimento conduzido em Turrialba, Costa Rica (Alpizar et alii, 1983). As concentra

QUADRO 3 - Conteúdo de nutrientes nas sementes e cascas de cacau (kg t⁻¹)

	N		P		K		Ca		Mg	
	Sem.	Cas.	Sem.	Cas.	Sem.	Cas.	Sem.	Cas.	Sem.	Cas.
Zeller (1925)	20,0	-	4,4	-	10,5	-	2,1	-	3,2	-
Urquhart (1963)	24,0	-	5,2	-	15,8	-	-	-	-	-
Kanapaty (1976)	20,8	10,4	3,1	0,74	8,8	32,0	0,6	1,9	3,0	2,1
Thong & Ng (1980)	20,4	10,6	1,6	0,57	8,7	36,0	0,8	2,7	1,6	1,6
Hardy (1961)	24,0	20,0	6,1	2,18	19,9	44,0	-	-	-	-
Santana & Cabala (1982)	22,0	12,0	5,1	1,10	10,5	38,7	1,1	5,3	3,1	3,7
Alpizar et alii (1983)	21,4	10,3	4,2	1,30	10,6	19,0	1,3	5,8	3,1	2,2
Umotoso (1975)										
Amazônico	20,7	17,0	3,7	2,30	6,7	77,2	-	-	-	-
Amelonado	20,7	15,4	3,6	1,78	6,7	68,4	-	-	-	-
Média	21,6	13,7	4,1	1,4	10,9	45,0	1,5	3,9	2,8	2,4

ções de fósforo, nas diferentes partes da vegetação nas associações investigadas, encontram-se no Quadro 2. Dados sobre a transferência de fósforo através dos resíduos vegetais têm sido também apresentados por Boyer (1973) nos Camarões e por Santana e Cabala (1984) no Brasil (Quadro 1).

As quantidades de fósforo acumuladas nas eritrinas e cacauzeiros de 4,5 anos totalizaram 26,3 e 12,1 kg ha⁻¹ nas partes aéreas, respectivamente (Figura 8), 2,3 kg ha⁻¹ nas raízes de ambas espécies e 8,8 kg⁻¹ ha⁻¹ no folheto. Essas quantidades são insignificantes quando comparadas com os teores de fósforo total no solo que evidenciou 3241 kg⁻¹ ha⁻¹. Sem dúvida, não se têm investigado as formas de fósforo de modo adequado. Sabe-se todavia, que somente uma fração muito pequena do fósforo se encontra prontamente disponível na solução do solo e que nos solos ácidos dos trópicos predominam os fosfatos de ferro, alumínio e formas inertes que não são disponíveis para as plantas (Fassbender, 1970 e Cabala & Fassbender, 1970).

Nas plantações investigadas foi verificado que as produções anuais de resíduos naturais por hectare continham 6,4 e 10,7 kg de fósforo nas associações com eritrina e loureiro. As podas de eritrinas contribuíram anualmente com 20,8 kg ha⁻¹.

Durante o quinto ano de cultivo foi retirado do sistema cacau-loureiro 4,4 kg de P ha⁻¹ dos quais 3,2 kg corresponderam às sementes e 1,1 kg às cascas. No caso da associação cacau-eritrina os valores corresponderam a 3,2 e 1,6 kg de fósforo ha⁻¹ ano⁻¹ (Figura 8).

Modelo do Ciclo do Fósforo

A Figura 8, ilustra o modelo do ciclo de fósforo para a associação cacau-eritrina estabelecida com base nos dados do experimento de Turrialba, Costa Rica.

Como fonte de ingresso de fósforo foi considerada a água de chuva (0,20 kg ha⁻¹ ano⁻¹) e a adubação (30,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹) e como fontes de saída a colheita de sementes e a lixiviação, sendo os demais processos de caráter interno. As produções de resíduos vegetais e as podas totalizaram 27,0 kg de fósforo ha⁻¹ ano⁻¹ e pressupondo que a decomposição não dura mais de um ano esses resíduos constituem uma fonte adequada desse nutriente. O fertilizante aplicado contribui com uma quantidade importante de fósforo, porém está sujeito aos mecanismos de fixação no solo. Uma pesquisa sobre a fixação desse elemento em solos da região de Turrialba mostrou que a fixação é bastante elevada (Fassbender, 1975). Este autor, avaliando a transformação de um fertilizante fosfatado na Estação Experimental de La Lola em Costa Rica, constatou que dos 1.660 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aplicados durante 9 anos em cacauais sombreados e sob plena exposição luminosa, somente 4 a 5%, se encontraram na forma solúvel, tendo sido a maior parte transformada em formas menos solúveis, principalmente aquelas ligadas ao alumínio.

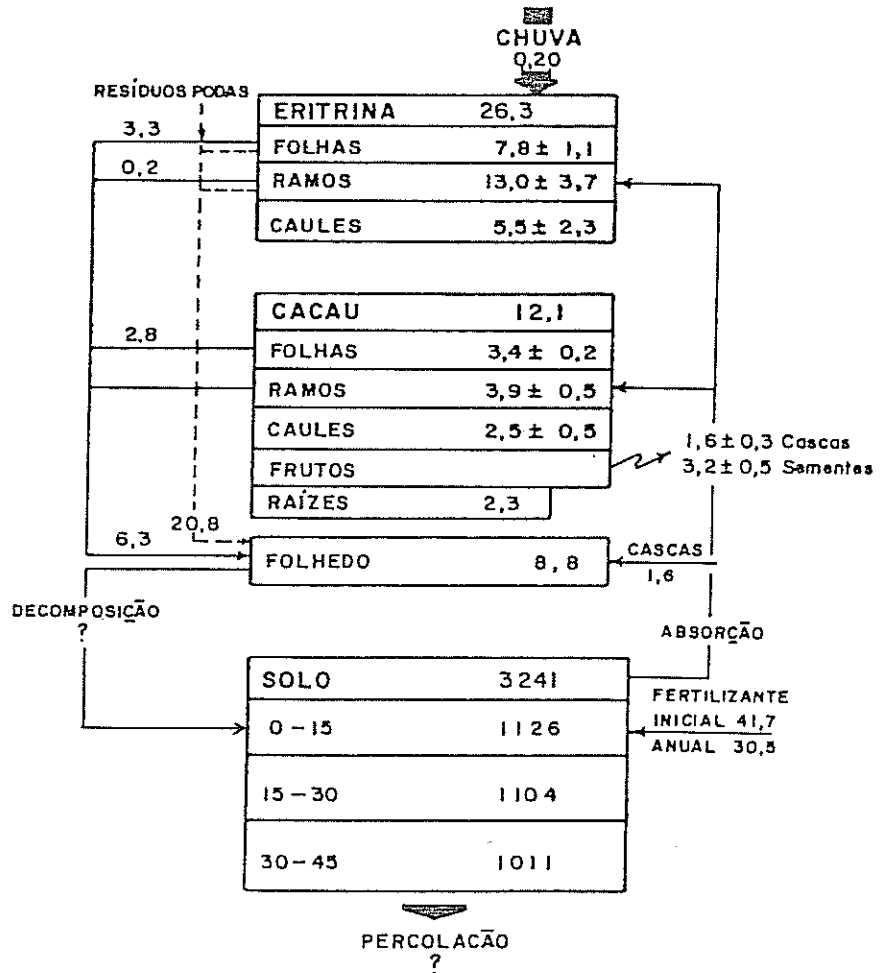


FIGURA 8 - Ciclo do fósforo em cacaual sombreado com eritrina em Turrialba, Costa Rica.

No Quadro 3, consta também o conteúdo médio de fósforo nas sementes de cacau, $3,55 \text{ kg t}^{-1}$, porém os valores situam-se num intervalo amplo que varia entre $1,6$ e $6,1 \text{ kg t}^{-1}$. Baseado na produtividade de 1.000 kg de sementes, tem-se uma necessidade absoluta de $3,55 \text{ kg}$ de fósforo $\text{ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Observando os dados de produção de resíduos e o conteúdo do folheto pode-se esperar que a circulação do fósforo na associação cacau-eritrina é adequada e efetiva.

CICLO DO POTÁSSIO

Reserva e Transferência de Potássio

Os dados referentes às reservas de potássio em plantações de cacau são bastante restritos. Os resultados obtidos por Alpizar et alii (1983) na combinação com eritrina, em experimentos conduzidos em Turrialba, Costa Rica, são apresentados na Figura 9. As concentrações de potássio nas diferentes componentes e partes estão resumidos no Quadro 2. Os valores de potássio na casca de cacau são elevados em comparação com outros nutrientes e partes da planta.

Os dados de transferência do potássio através dos resíduos vegetais constam do Quadro 1 com relação a cacauais da Costa Rica, dos Camarões e do Brasil.

As quantidades de potássio acumuladas nas plantas de cacau são menores que as acumuladas nas eritrinas. A adição desse elemento através dos resíduos vegetais é considerável, sendo depositados anualmente por hectare 40,0 kg, 23,6 kg e 166,3 kg, respectivamente através de resíduos, cascas e material podado.

As reservas de potássio no solo mineral são apresentadas na Figura 9 e dizem respeito à forma trocável evidenciada através da extração com acetato de amônio.

Modelo do Ciclo de Potássio

Na Figura 9 é apresentado, como exemplo, um modelo da reciclagem do potássio no sistema cacau-eritrina com base nos dados do experimento de Costa Rica. Durante o período experimental (4,5 anos) acumularam-se 315 kg de potássio por hectare na vegetação. Comparando-se esse valor com as reservas trocáveis que ocorriam no solo no início do experimento (439 kg ha^{-1}) verifica-se que teve uma absorção bastante elevada das reservas do solo, sendo provavelmente encontrado em níveis mínimos no último ano do experimento.

A reciclagem do potássio dentro do sistema é, sem dúvida muito intensa, sendo que, durante um ano de pesquisa foi depositado sobre o solo um total de $229,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Supondo-se uma decomposição em um ciclo anual, tem-se uma liberação praticamente 7 vezes maior que aquela que corresponde à extração.

De acordo com os teores médios de potássio nas sementes e nas cascas dos frutos (Quadro 3) pode ser constatado que as necessidades desse elemento por tonelada de colheita, alcançam somente $11 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Este enfoque implica em estabelecer a reincorporação das cascas dentro do ecossistema.

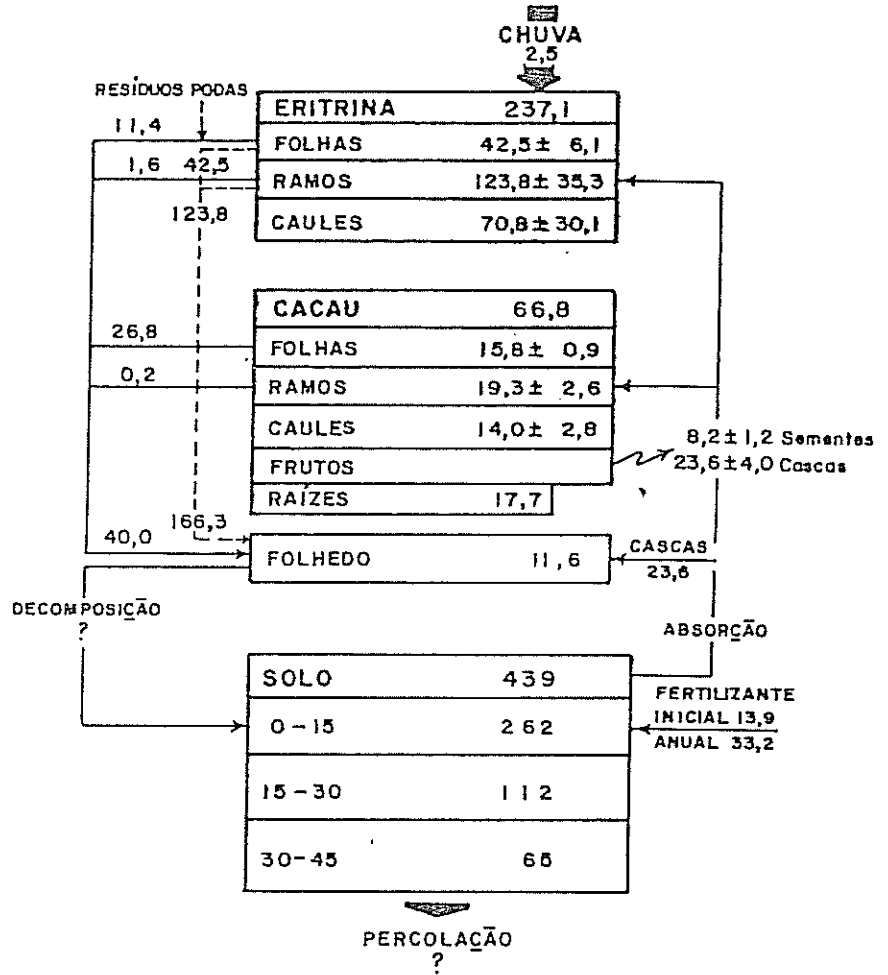


FIGURA 9 - Ciclo do potássio em cacaual sombreado com eritrina em Turrialba, Costa Rica.

RESUMO

Apresenta-se um modelo básico para descrever os ciclos da matéria orgânica e de elementos nutritivos em cultivos tropicais permanentes e aplica-se em culturas de cacau descrevendo os aspectos da matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e potássio. Sendo o cacau uma planta esciófila, resultam modelos de vários estratos. A informação até agora disponível é limitada e destacam-se as reservas acumuladas nos sistemas de produção e nas transferências entre componentes bióticos (compartimentos/colheitas) e abióticos (solo, chuvas e percolação) do sistema. No caso do nitrogênio consideram-se também os processos de fixação simbiótica, que até agora têm sido pouco estudados. Em um exemplo de cacau com poró (*Erythrina* sp.) têm-se as seguintes reservas (kg de N ha⁻¹): poró 262,5; cacau 102,8; folheto 110,8 e solo mineral 9556. Neste sistema consideram-se as seguintes transferências (kg de N ha⁻¹e ano): resíduos naturais 327,8; resíduos de podas 112,2; resíduos de colheitas 12,8; chuva 5,0; fertilização 120,0 e colheita de sementes 16,2. Comparam-se os valores com outras associações (loureiro : *Cordia* sp.) e com outros países, Venezuela, Brasil, Camarões. A modalidade de P no sistema estudado é pequena. Nos 45 anos de cultivo se acumularam 35,2 kg de P ha⁻¹ na vegetação; as reservas de P total no solo alcançaram 3241 kg ha⁻¹. O potássio, seguramente, é o fator limitante natural da eficiência do cultivo. Sua acumulação na vegetação é de 315 kg ha⁻¹ em comparação com a reserva trocável do solo de 439 kg ha⁻¹.

SUMMARY

A basic model to describe the organic matter and nutrient (N, P and K) cycles in permanent tropical crops is presented. The model is applied to the cultivation of cacao, which, being a sciophilous plant results in models of several layers. The information presently available is limited; the accumulated reserves of the production system and in the exchanges between the biotic (plant parts/harvests) and the abiotic (soil, rainfall, percolation) components of the system are the most outstanding. In the case of nitrogen, the symbiotic fixation processes, which have been hardly studied so far, are also considered. In an example of cacao planted under an *Erythrina* sp. reserves are the following: (kg N ha⁻¹): poró 263.5, cacao 102.8, litter 110.8 and mineral soil 9556. The following exchanges were considered in this system (kg N ha⁻¹ year⁻¹): natural residues 327.8, pruning residues 112.2, harvest residues 12.8, rainfall 5.0, fertilizers 120.0, seed harvested 16.2. These values are compared with those obtained in other associations (loureiro, *Cordia* sp.) and with those in other countries like Venezuela, Brazil and the Cameroons. Phosphorus mobility in the system studied is small. During 45 years of cultivation 35.2 kg P ha⁻¹ were accumulated; the P reserves in the soil reached 3241 kg ha⁻¹. Certainly, potassium is a natural limiting factor in the efficiency of cultivation. Its accumulation in the vegetation is 35 kg ha⁻¹ in comparison with an exchangeable reserve in the soil of 439 kg ha⁻¹.

LITERATURA CITADA

- AGUIRRE, V. Estudio de los suelos del area del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación, IICA, Turrialba. Tese de Mestrado. Turrialba, IICA, 1971.
- ALPIZAR, L.; FASSBENDER, H.W. & HEUVELDOP, J. Estudio de sistemas agroforestales en el experimento central del CATIE, Turrialba. I: Determinacion de biomassa y acumulacion de reservas nutritivas. Turrialba, CATIE, 1983. 28p.
- ALPIZAR, L.; ENRIQUEZ, G.; FASSBENDER, H.W. & HEUVELDOP, J. Estudio de sistemas agroforestales en el experimento central del CATIE, Turrialba. II. Produccion agricola y maderable. Turrialba, CATIE, 1983. 26p.
- ALPIZAR, L.; FASSBENDER, H.W. & HEUVELDOP, J. Estudio de sistemas agroforestales en el experimento central del CATIE, Turrialba III. Produccion de residuos vegetales. Turrialba, CATIE, 1983. 14p.
- ALVIM, P. de T. Cacao. In: ALVIM, P. de T. & ZOZLOWSKI, T.T., eds. Ecophysiology of tropical crops. New York, Academic Press, 1977. pp.279-313.
- ARANGUREN, J.; ESCALANTE, G. & HERRERA, R. Ciclo del nitrogeno en cultivos tropicales bajo arboles de sombra. II. Cacao. Pl. Soil, The Hague, 67:259-269, 1982.
- BOYER, J. Cycles de matière organique et des éléments minéraux dans une cacaoyère camerounaise. Café Cacao Thé 17:2-23, 1973.
- CABALA-ROSAND, P. & FASSBENDER, H.W. Formas del fosforo en suelos de la region cacaotera de Bahia, Brasil. Turrialba, 20:439-444, 1970.
- CLARK, F.E. & ROSSWALL, T., eds. Terrestrial nitrogen cycles. Ecol. Bull, Stockholm, 33:1-714, 1981.
- ENRIQUEZ, G. Ensayo central de cultivos perennes en comparacion con algunos anuales. In: TALLER SOBRE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES EN AMERICA LATINA. Turrialba, 1979. Actas. Turrialba, CATIE, 1979. p.199-202.
- ENRIQUEZ, G. El cultivo del cacao. Turrialba, CATIE, 1983. 162p.
- FASSBENDER, H.W. Forms of phosphate after nine years of superphosphate fertilization of cacao. Agrochimica, Pisa, 13:39-43, 1970.
- FASSBENDER, H.W. Quimica de suelos con énfasis en suelos de America Latina. San José, Costa Rica, IICA, 1975. 398p.

- FRISELL, M.J., ed. Cycling of mineral nutrients in agriculture ecosystems. Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Co., 1978. 356p.
- GRANADOS, A. Mineralización del azufre en suelos bajo cacao. Tese de Mestrado. Turrialba, CATIE, 1972. 108p.
- HARDY, F. Manual de cacao. Turrialba, IICA, 1961. 439p.
- HAVORD, G. The nutrition and shade requirements of cacao. Turrialba, 9:138-148, 1959.
- KANAPATBY, K. Guide to fertilizer use in peninsular Malaysia. Kuala Lumpur, Ministry of Agriculture and Rural Development, 1976. 141p.
- MURRAY, D.B. Cacao nutrition. In: CHILDERS, N.F., ed. Nutrition of fruit crops. 2ed. New Brunswick, Rutgers State University, 1966. 229-251.
- OMOTOSO, T.I. Amounts of nutrients removed from the soil in harvested Amelonado and F₃ Amazon cacao during a year. Turrialba, 25:425-428, 1975.
- ROBERTSON, G.P.; HERRERA, R. & ROSSWALL, eds. Nitrogen Cycling in ecosystems of Latin America and the Caribbean. Pl. Soil, The Hague. 67:1-430, 1982.
- SALAS, G. DE LAS & FASSBENDER, H.W. The soil science basis of agroforestry production systems. In: HEUVELDOP, J. & LAGEMAN, J., eds. Agroforestry. Turrialba, CATIE, 1981. p. 27-33.
- SANTANA, M.B.M. & CABALA-ROSAND, P. Dynamics of nitrogen in a shaded cacao plantation. Pl. Soil, The Hague, 67:271-281, 1982.
- SANTANA, M.B.M. & CABALA-ROSAND, P. Reciclagem de nutrientes em uma plantação de cacau sombreada com Erythrina. In: INTERNATIONAL COCOA RESEARCH CONFERENCE, 9, Lomé, 1984. s.n.t. s.p.
- THONG, K.C. & NG, W.L. Growth and nutrients composition of monocrop cocoa plants on inland Malaysian soils. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COCOA AND COCONUTS, Kuala Lumpur, 1978. The Incorporated Society of Planters, 1980. p.262-286.
- URQUHART, D.H. Cacao. Turrialba, IICA, 1963. 322p.
- ZELLER, T. Kakao. Hamburg, Deutscher Ausland Verlag, 1925. s.p.