

# O ciclo hidrológico em áreas cobertas pela floresta tropical

A propósito do processo de formação das nuvens tipo "Cumulus esfarrapadus"

Antonio Giacomini Ribeiro (\*)

## Resumo

A formação das nuvens do tipo "cumulus esfarrapadus" nas áreas cobertas pela floresta tropical, na Amazônia, é a evidência observável da interferência deste tipo de cobertura vegetal no comportamento do ciclo hidrológico. A partir da observação direta e sensível do fenômeno, concluiu-se que certa percentagem da água da chuva é evaporada antes que esta atinja o solo; sendo, portanto, a transpiração foliar e a evaporação da água da chuva antes que atinja o solo, formas normais de adição de umidade para a atmosfera que envolve a floresta tropical. O processo de formação das nuvens do tipo "cumulus esfarrapadus" é deduzido teoricamente, à espera de informações quantitativas que lhe garanta a validade.

A observação direta do fenômeno, em todas suas fases, possibilitou a elaboração de um esquema tentativo, visando a sua compreensão. Os registros específicos, envolvendo a microclimatologia florestal são escassos para a Amazônia, razão pela qual as proposições que se seguem devem ser consideradas como especulatórias.

O estudo do papel da cobertura vegetal como elemento interferente no comportamento atmosférico não tem sido negligenciado tanto pelos ecologistas como pelos climatologistas. Richards (1952) & Geiger (1957), autores clássicos em ecologia tropical e microclimatologia, respectivamente, abordam o assunto com propriedade, mas sem a profundidade desejada, em virtude da carência de registros diretos e específicos para tal, especialmente no caso da Floresta Tropical (pelo menos até a ocasião em que os citados autores editaram suas obras).

Mais recentemente, estudos ecológicos têm se preocupado com o problema, definindo, para algumas áreas florestais, parâmetros as-

sociados à estrutura física do ar, sob e imediatamente acima da cobertura florestal — Odum, *et al.* (1970); Bayton (1963); Kiese (1971); Eber (1971); Molchanov (1971), entre outros. No entanto, a extrapolação dos dados observados nas áreas extra-amazônica é um tanto quanto arriscada, pois a circulação atmosférica regional estabeleceria pré-condições para a organização estrutural da baixa atmosfera.

A Floresta Amazônica, pela sua extensão e tipo de estratificação, gera modificações ambientais de espetacular magnitude, se comparada com outras áreas climato-botânicas do globo, especialmente na baixa troposfera.

O balanço hídrico em áreas florestadas da Amazônia não pode ser seguramente avaliado pelas técnicas usuais de cálculo que levam em conta a evapotranspiração potencial, pois a evaporação direta do solo é desprezível, sendo substituída pela evaporação da água da chuva *antes que esta atinja o solo*. Portanto, a evapotranspiração foliar e a evaporação da água da chuva, antes que atinja o solo, são as formas normais de adição de umidade para a atmosfera que recobre a Floresta Tropical, sem desprezar a evaporação direta das superfícies líquidas dos lagos, rios e igarapés.

A gênese das nuvens do tipo *Cumulus esfarrapadus* expressaria as alterações da estrutura higratérmica da atmosfera, desde o início de uma chuva até algum tempo após.

Faz-se necessário esclarecer que o processo a ser descrito pressupõe a ausência de forte circulação horizontal, característica peculiar do Sistema de Circulação Equatorial, assim como estas observações têm maior validade para pancadas de chuva com duração

(\*) — Geógrafo do Projeto RADAMBRASIL.

inferior a meia hora, tempo suficiente e necessário para estabelecer o encadeamento das situações que ora se propõe.

As nuvens tipo *Cumulus estarrapadus*, também conhecidas como *fiapo de algodão* ou *barba-de-bode*, surgiriam após uma seqüência de situações envolvendo três momentos: antes, durante e após a precipitação pluviométrica.

#### SITUAÇÃO I — Antes da Chuva (Fig. 1)

O desenho que representa esta situação é esquemático, baseando-se mais na lógica do processo que em dados realmente observados e medidos (o mesmo ocorrendo com os esquemas seguintes), salvo o gradiente térmico vertical (linha contínua) que se aproxima dos registros apresentados por Bayton (1963), ape-

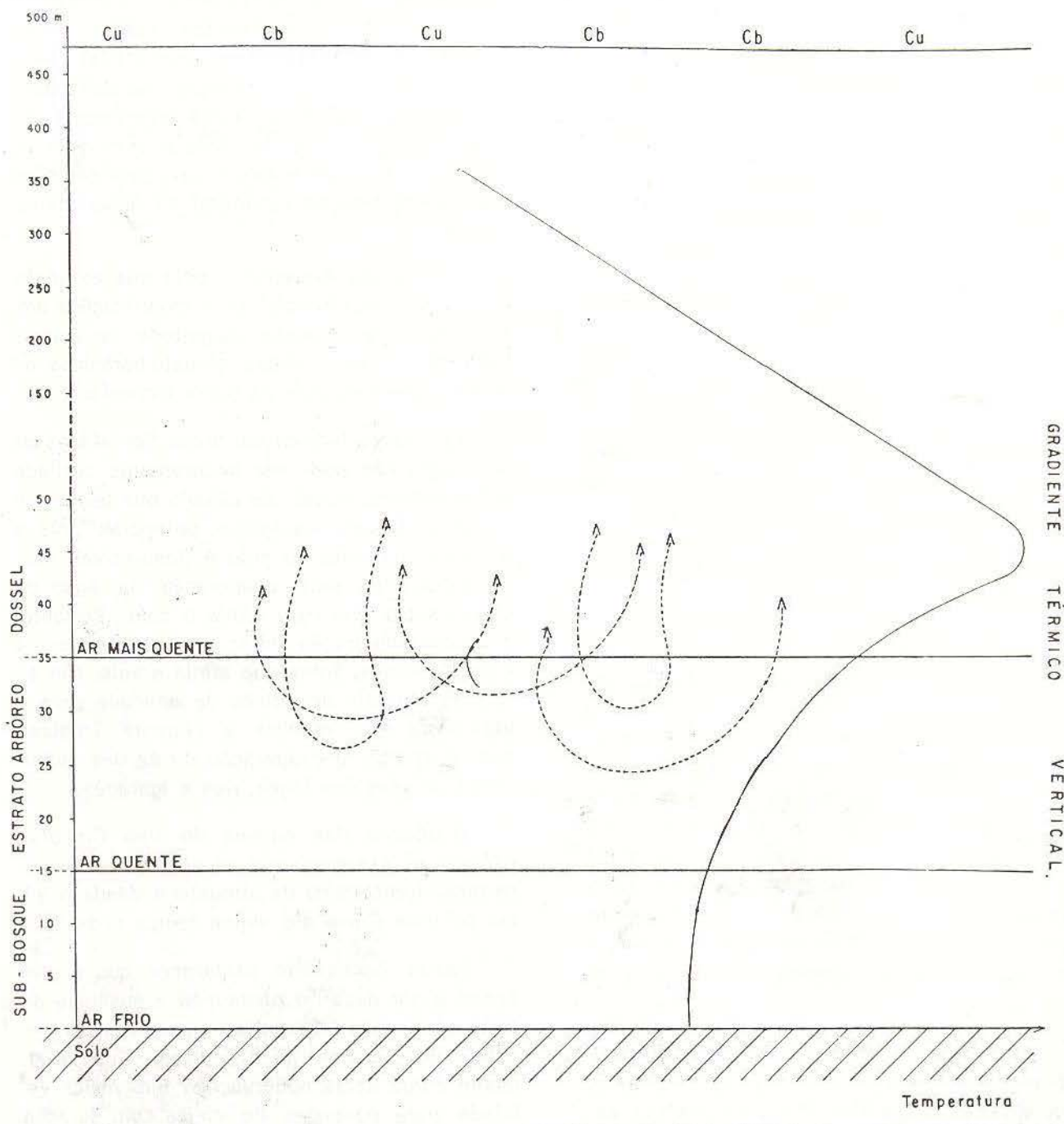


Fig. 1 — Situação I — Antes da chuva.

sar de exagerados. As linhas pontilhadas representam a turbulência convectiva, típica para o horário considerado (de 10 a 17 horas).

O aquecimento, que se faz do dossel em direção ao solo, provocaria a estrutura típica de inversão térmica: no sub-bosque o ar frio, no estrato arbóreo o ar quente e, imediatamente acima do dossel, o ar mais quente.

Nesta fase do processo a fotossíntese é intensa, havendo abundante fornecimento de umidade para a troposfera, por evapotranspiração foliar, abastecendo pela base, as nuvens Cumulus e Cumulus nimbus, que iniciam sua formação logo pela manhã.

#### SITUAÇÃO II — Durante a Chuva (Fig. 2, 3 e 4)

É conhecida na Amazônia a capacidade que tem a chuva de resfriar a baixa troposfera, tanto que, de modo geral, o período mais chuvoso (dezembro a maio) é considerado popularmente como "inverno".

As transformações que a estrutura térmica vertical, ao nível da floresta, sofre com a presença da precipitação pluviométrica, nesta fase, e na seguinte, são especulatórias, não baseadas em dados efetivamente medidos, representando apenas sua evolução hipotética.

Acima do dossel, o ar tornar-se-ia mais frio que na etapa anterior, pois a insolação é interrompida pela cobertura da nuvem pluvial, a turbulência é intensa e o próprio contato do ar com a água precipitada, provocariam o resfriamento desta camada; comprimindo-se entre o estrato arbóreo e o sub-bosque, ficaria uma camada de ar quente.

A umidade relativa seria muito elevada ao nível do dossel (ar mais frio), pouco elevada entre o estrato arbóreo e o sub-bosque, aumentando nesta faixa. Entretanto, a camada que apresentaria maior umidade específica seria o estrato arbóreo, justamente onde o maior IAF (índice de área foliar) reteria a maior parte da água precipitada.

A densidade da floresta e a intensidade da precipitação determinam a velocidade de penetração da água pluvial através da mesma. Richards (1952) informa os resultados de pesquisas efetuadas no sul do Brasil: em condições de floresta tropical, 50% da chuva atinge o pluviômetro a 1,5m do solo, se esta for branda e, se for mais intensa, cerca de 60% atinge o recipiente e mais 10% atinge o solo através dos troncos das árvores.

#### SITUAÇÃO III — Após a Chuva (Fig. 5, 6 e 7)

A estrutura vertical da temperatura, após a chuva, tenderia a uma uniformização no interior da floresta. Para que isso ocorra, tornar-se-ia necessária a difusão do ar quente que, durante a chuva, estaria entre o dossel e o sub-bosque. Esta difusão seria feita ao nível do dossel, justamente onde a umidade relativa seria mais elevada, completando-se ao término da chuva.

A difusão do ar quente, por ascensão, provocaria o aumento da capacidade de absorção de umidade ao nível do dossel, onde ocorreria um choque com o ar frio e, conseqüente condensação, que se verificaria em volume suficiente para tornar-se visível, sob a forma de nuvens do tipo "Cumulus esfarrapadas".

No sub-bosque, o ar tornar-se-ia mais frio que antes e durante a chuva, pois é quando esta cessa sobre a área, que este estrato receberia a maior carga d'água.

O estrato arbóreo tornar-se-ia menos quente e o resfriamento atingiria também a camada ocupada pelos "Cumulus esfarrapados". O espaço entre o topo destas nuvens e a base dos Sc e Cu caracterizar-se-ia pelo aumento da temperatura, provocada por inversão térmica convectiva.

A evaporação dos "Cumulus esfarrapados" ocorreria rapidamente, ocasionada pela camada de inversão térmica e reforçada pela liberação do calor latente de evaporação, que alimentaria pela base a referida camada de Cu e Sc, desaparecendo totalmente após cerca de uma hora após a chuva.

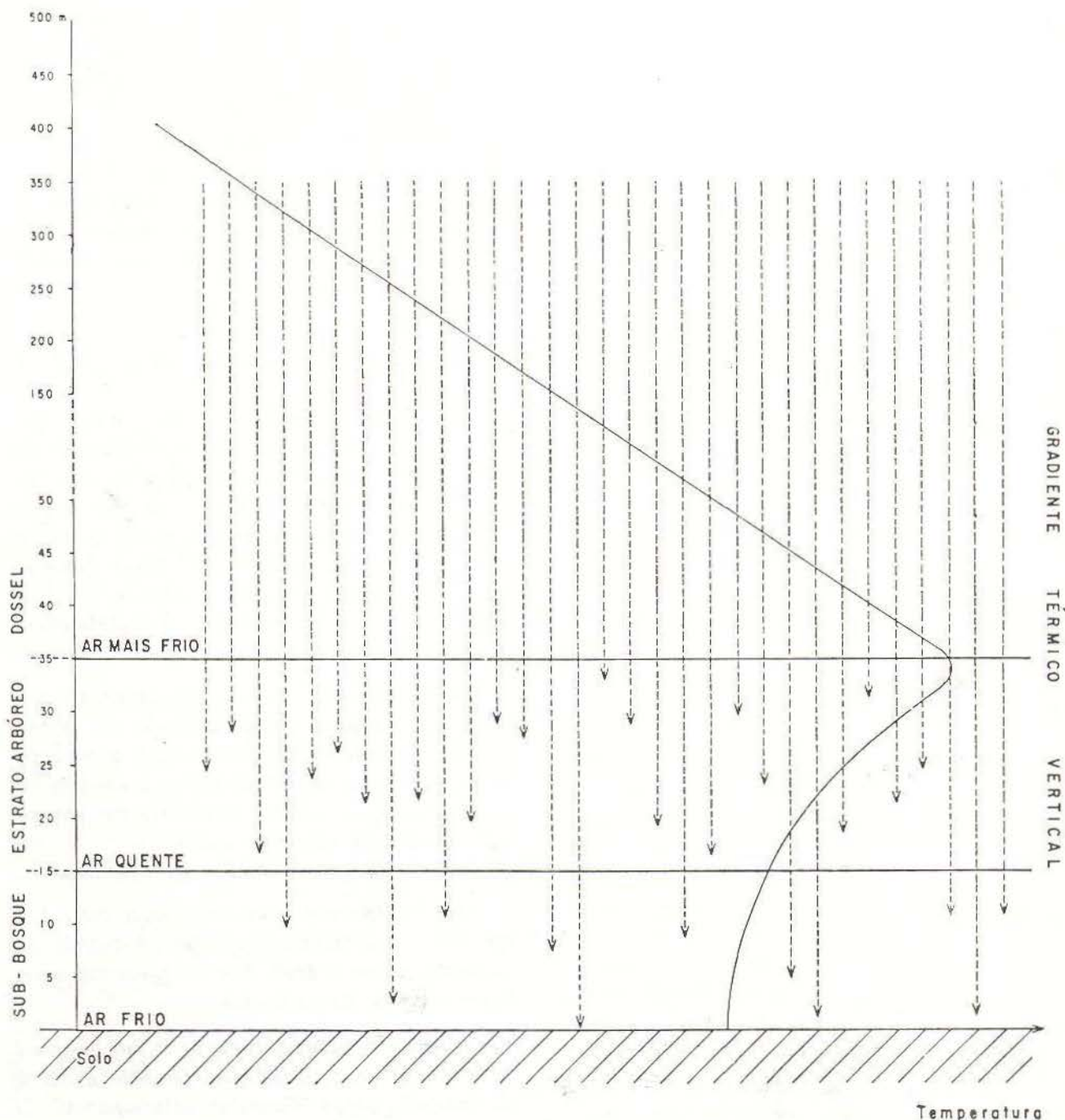


Fig. 2 — Situação II — Durante a chuva.

Em contraposição, passado este tempo, é nítido o aumento de volume dos Sc e Cu, onde o primeiro passa a dominar (Fig. 8).

A ocorrência das nuvens tipo "Cumulus esfarrapados" seria tanto maior quanto maior fosse a área da floresta tropical densa. Em floresta tropical aberta aparece em bancos re-

duzidos e em áreas de campo e desmatamentos (inclusive cultivados), praticamente inexistente.

A dinâmica que gera o processo responsável pela formação destas nuvens seria responsável, em última análise, pelo retardamento do ciclo hidrológico nas áreas florestadas



Fig. 3 — A chuva na plenitude de sua intensidade.

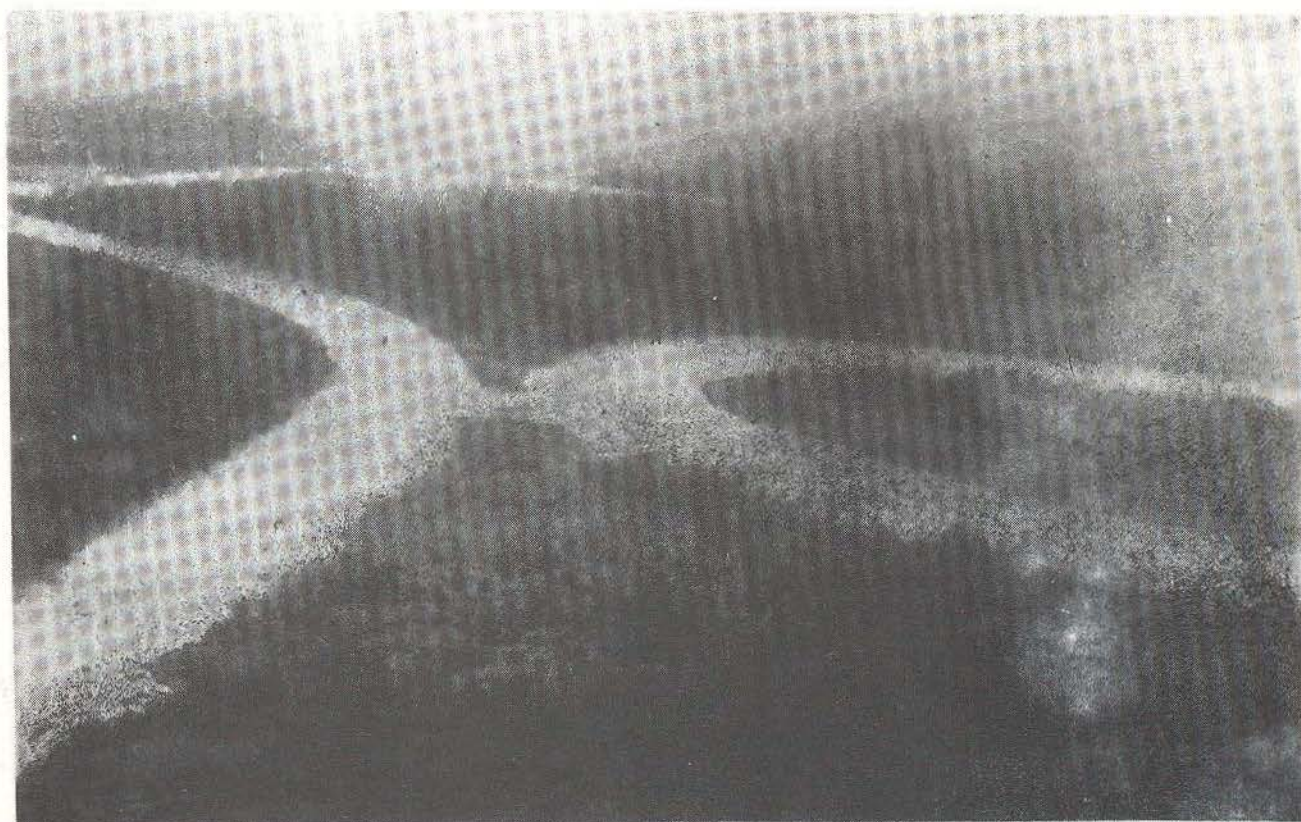


Fig. 4 — Momento em que a chuva está prestes a cessar.

da Amazônia, fazendo com que o mesmo corpo d'água precipite várias vezes antes de incorporar-se aos lençóis subterrâneos, aos rios e igarapés. Convém lembrar o papel ecofisiológico da própria floresta, como um todo aumentando este retardamento, ao constituir-se em impedimento físico ao escoamento superficial e subsuperficial, assim como ao provo-

car o bombeamento da água da zona das raízes para a atmosfera através da evapotranspiração.

Como consequência climática deste fato, percebe-se que o tipo de cobertura vegetal seria de fundamental importância para determinar o comportamento da precipitação, em seu

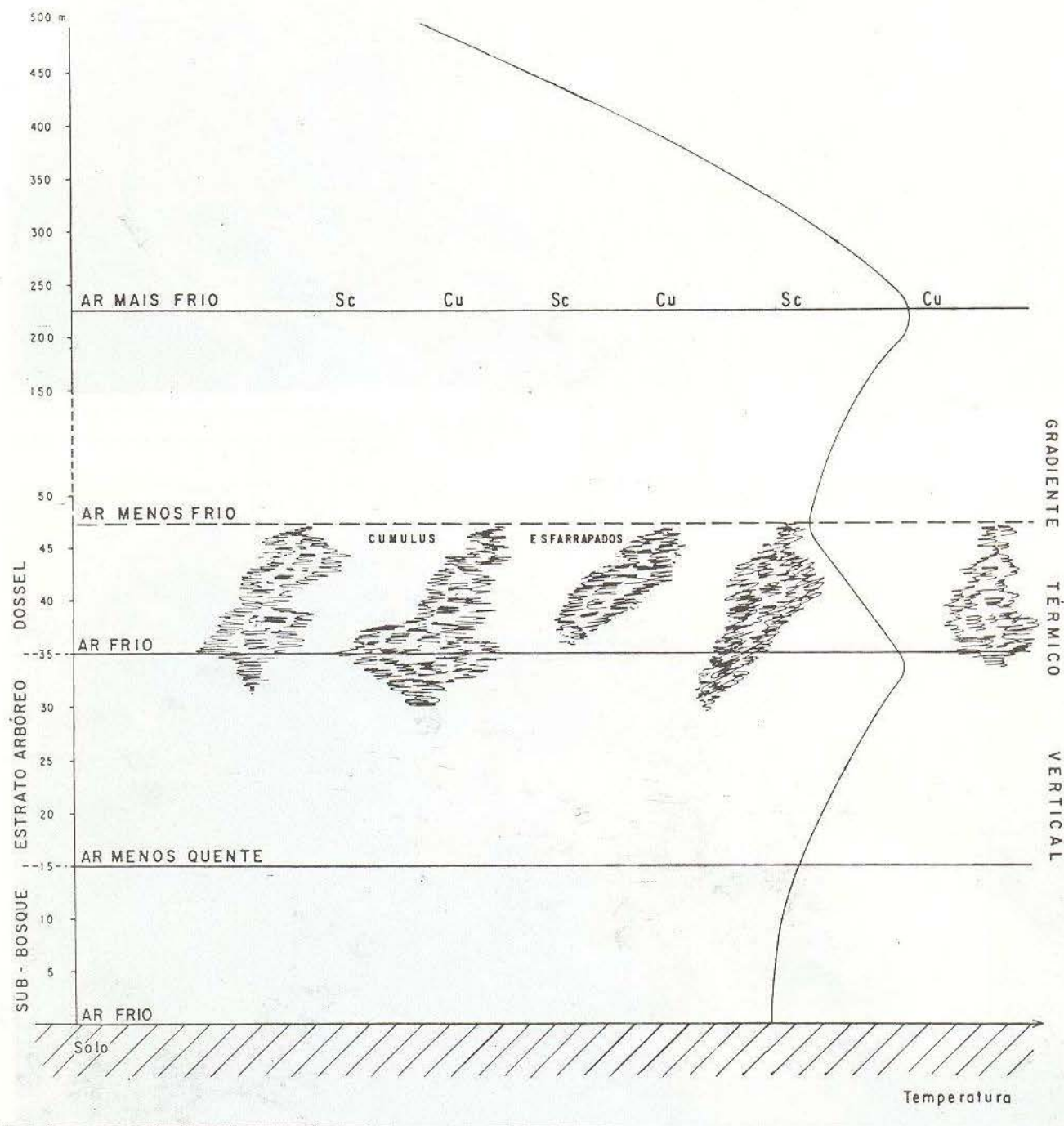


Fig. 5 — Situação III — Após a chuva.

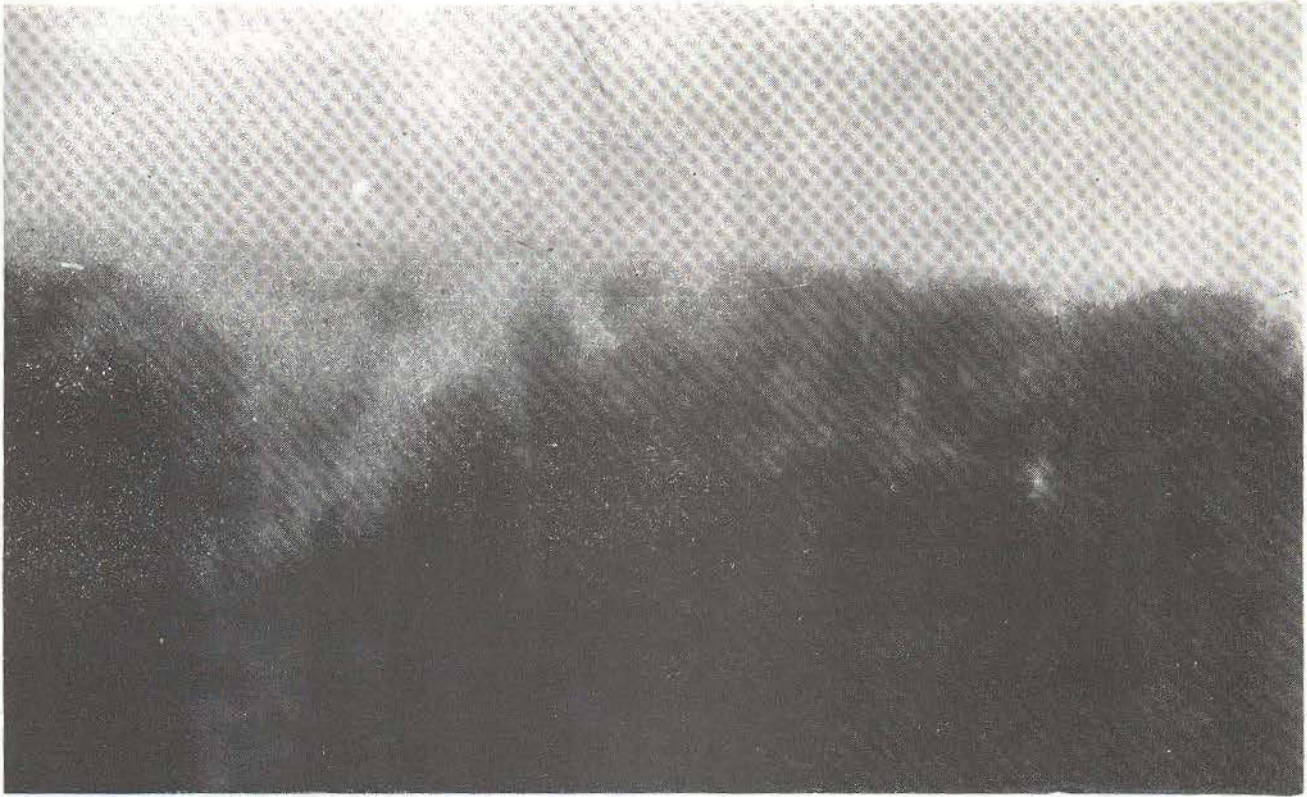


Fig. 6 — Ao cessar a precipitação, os "cumulus esfarrapados" iniciam sua ascensão.



Fig. 7 — Quinze minutos após o término da chuva, os "cumulus esfarrapados" aparecem com menos frequência.



Fig. 8 — As nuvens do tipo "cumulus esfarrapados" e "strato-cumulus" surgem após 30 ou 40 minutos do término da precipitação pluviométrica.

volume e ritmo, desde que prevaleçam as condições de circulação regional anteriormente descritas.

Na ausência da floresta, a água precipitada escoaria imediatamente em direção aos talvegues, caracterizando um regime fluviométrico torrencial: vazantes acentuados e cheias catastróficas, além de provocar terríveis danos através da erosão do solo e o assoreamento dos rios; igarapés e lagos.

Esta pequena contribuição ao conhecimento de um dos múltiplos fatores que regem a estrutura do ciclo hidrológico na Amazônia, busca alertar para a necessidade de pesquisarem-se os diferentes níveis de organização climática, do zonal ao micro-climático; da gênese do fenômeno pluvial às conseqüências de seu impacto.

A experiência tem mostrado que as pesquisas climatológicas na região devem atentar para os seguintes aspectos:

- necessidade de investigações que tenham como ponto de partida uma série de registros, em escala temporal e espacial, compatíveis com a natureza das questões microclimáticas da floresta tropical amazônica;
- necessidade de levar-se em consideração a circulação atmosférica regional, mesmo em estudos de microclimatologia florestal, uma vez que esta é pré-condição para definir a entrada de energia no sistema climático em foco;
- necessidade de maior integração ecológica aos estudos climáticos aplicados na Amazônia, considerando-os correlativamente com a distribuição espacial da vegetação.

Tais providências podem constituir-se em ponto de partida válido para futuras previsões e generalizações quanto ao comportamento cli-



mático e hidrológico da região, elementos essenciais ao planejamento do desenvolvimento econômico e social.

#### SUMMARY

The formation of "cumulus esfarrapadus" type clouds in areas covered by tropical forest in the Amazon Basin is the observable evidence of the interference of this type of vegetation cover in the progression of the hydrologic cycle.

Starting with direct and sensible observation of the phenomenon, it is concluded that a certain percentage of rainwater evaporates before hitting the ground; foliar transpiration and evaporation of rainwater before attaining the soil being, therefore, the normal forms of increased atmospheric humidity that involve the tropical forest.

The process of cloud formation of the type "cumulus esfarrapadus" is theoretically deduced, to await quantitative data to confirm its validity.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EBER, W.

- 1971 — **The characterization of the woodland light climate.** In: INTEGRATED ECOLOGY — Me-

thods and results of ecosystem research in the German Solling Project. Berlin, Heinz Ellenberg, Spring Verlag.

GEIGER, R.

- 1957 — **The climate near the ground.** Cambridge, University Printing Office, 600 p.

KIESE, O.

- 1971 — **The mensurement of climate wich determine production in various plant stands** In: **INTEGRATED EXPERIMENTAL ECOLOGY — Methods and results of ecosystem research in the German Solling Project.** Berlin, Heinz Ellenberg, Spring Verlag, p. 132-142.

MOCHANOV, A.A.

- 1971 — **Hidrologia Florestal.** Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian. Tradução de Zózimo P.C. Rego. 419 p.

ODUM, H.T.; DREWRY, G. & KLINGE, J.R.

- 1970 — **Climate at El verde, 1963 — 1966** In: **A TROPICAL RAIN FOREST — A study of inadiation and Ecology at El Verde, Puerto Rico.** Washington, Atomic Energy Comission. Office of Information Services, p. 347-418.

RICHARDS, P.W.

- 1952 — **The tropical rain forest; an ecological study.** Cambridge, University Press, 450 p.

(Aceito para publicação em 07/06/79)