

VII Simposio Latinoamericano de Percepción Remota

Sexta Reunion Nacional
SELPER-Mexico

Latinoamérica Evaluada desde el Espacio
Puerto Vallarta, México

Memorias

Noviembre, 1995

**TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA
COMO SUPORTE PARA INVENTÁRIOS FLORESTAIS EM REGIÕES TROPICAIS: CASO DE
ESTUDO “FLORESTA NACIONAL DE CAXIUANÃ”, ESTADO PARÁ - BRASIL**

Silvia Pardi Lacruz
João Roberto dos Santos

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Av. dos Astronautas 1758, 12227-010 São José dos Campos, SP, Brasil
lacruz@ltid.inpe.br, jroberto@ltid.inpe.br

RESUMO

Com a recente implantação da Estação Científica Ferreira Penna (33.000 ha), localizada na Floresta Nacional de Caxiuanã (Estado do Pará, Brasil), o Museu Paraense Emílio Goeldi estabeleceu uma série de pesquisas visando desenvolver técnicas que permitam um manejo florestal para fins de preservação da biodiversidade presente na área e representativa da Amazônia Brasileira. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo geral demonstrar a estrutura do procedimento metodológico adotado, no uso de técnicas de sensoriamento remoto e de sistemas de informação geográfica como subsídio na definição de áreas para inventários florestais na citada Estação Científica. A aquisição de dados em multi-nível (imagem TM/LANDSAT, fotografias aéreas coloridas em escala 1:20.000 e inventário amostral em campo) constitui a fonte básica de informações. Algoritmos de componentes principais, de segmentação por crescimento de regiões e algoritmos de classificação por máximo de verossimilhança, incluídos no pacote SPRING, estão sendo utilizados para permitir a geração e cruzamento dos diferentes planos de informação. A organização numa escala espacial das informações sobre a geomorfologia, a distribuição espacial da cobertura vegetal, em associação com os dados amostrados por inventário relativos às características fisionômico-estruturais das fâcies de vegetação, podem conduzir nesta abordagem multi-nível, um conhecimento primário da área, necessário ao planejamento territorial da Estação Científica, quer seja para fins de preservação propriamente dita e/ou manejo de seus recursos florestais.

1. INTRODUÇÃO

A quantificação da vegetação tem se tornado uma atividade imprescindível no planejamento e monitoramento de áreas florestais. Os recursos florestais de um país, região ou localidade devem ser suficientemente conhecidos para que possam ser elaborados planos manejo.

A fim de contribuir para o conhecimento dos recursos florestais da região Amazônica, o presente estudo propõe o desenvolvimento de uma metodologia para a indicação de áreas representativas para a elaboração de inventários florestais, baseada em dados multi-níveis de sensoriamento remoto (imagens TM/LANDSAT, fotografias aéreas e dados de campo) e de sistemas de informação geográfica.

2. ÁREA DE ESTUDO

A área em estudo corresponde à Estação Científica Ferreira Penna, localizada no município de Portel, Estado de Pará (Brasil), entre as coordenadas geográficas 1° 30' a 1° 50' latitude sul e 51° 15' a 51° 45' longitude leste. Possui uma extensão de 33.000 hectares e encontra-se dentro da Floresta Nacional de Caxiuanã.

No referente às características fisiográficas, toda a área de estudo se encontra inserida na Província Geológica de Cobertura Cenozóica, caracterizada em quase sua totalidade pela unidade litoestratigráfica Formação Barreiras do Terciário; sob forma geral, os solos da área de estudo correspondem ao latossolo amarelo, bem drenados, de estrutura maciça e baixa fertilidade natural; a área é caracterizada por um relevo plano a suavemente ondulado (Projeto RADAMBRASIL, 1974).

Segundo a classificação de Köppen, o clima da área é do tipo Am, tropical úmido, com temperatura média do mês mais frio nunca inferior a 18 °C e sub-clima de monção, com precipitação excessiva durante alguns meses, o que é compensado com um ou dois meses com precipitações inferiores a 60 mm (SUDAM, 1984).

A área da Estação Científica Ferreira Penna se encontra dentro da região ecológica de Floresta Densa, especificamente na sub-região dos baixos platôs do Pará/Maranhão/Amapá. Esta classe de Floresta Densa, na grande região amazônica pode ser considerada sinônimo da Floresta Ombrófila Tropical, caracterizada sobretudo por árvores de grande porte, por vezes com mais de 50 metros de altura, que sobressaem do estrato arbóreo uniforme, entre 25 e 35 metros de altura. Esta grande região ecológica, pode ser ainda subdividida em dois grandes grupos presentes na área: Matas de Terra Firme e Matas de Várzea e Igapó (Projeto RADAMBRASIL, 1974).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais que estão sendo utilizados para adequação da metodologia proposta são: **produtos orbitais**, compostos por uma imagem TM/LANDSAT, bandas 1 - 5 e 7, data 16/06/1993, em formato digital e a mesma cena, de data 14/08/1991, banda 4 em papel fotográfico; **material cartográfico**, uma Carta Imagem de Radar Preliminar, Folha Gurupá SA.22-V-D, em escala 1:250.000, (DSG 1984) e os mapas Geológico, Geomorfológico, Exploratório de Solos e Fitoecológico do Projeto RADAMBRASIL, Folha Gurupá SA.22-V-D, em escala 1:1.000.000 (1974); e **material completar**, composto por fotografias aéreas coloridas, em escala 1:20.000, obtidas em aerolevanteamento realizado pelo Núcleo de Suporte Aéreo do INPE em julho de 1994 e um *Global Positional System* (GPS). A imagem digital, está sendo tratada no Sistema de Processamento de Informações Geo-referenciadas (SPRING versão 1.0), desenvolvido pelo INPE.

A abordagem metodológica que está sendo empregada no presente estudo é baseada na integração de dados multi-nível, oriundos das imagens TM/LANDSAT, fotografias aéreas (filme colorido normal) em escala 1:20.000 e informação de campo, composta principalmente pelos dados do inventário florestal. Na Figura 1 são apresentadas as etapas do processo metodológico, cuja síntese da parte de processamento das imagens e integração de dados pode ser descrita a seguir:

- a) **análise visual**: fase inicial de observação da imagem TM/LANDSAT (banda 4) para o delineamento das feições geomorfológicas existentes na área de estudo, a partir da delimitação da drenagem da área e posterior medição dos interflúvios, com a finalidade de definir áreas geomorfológicamente homogêneas, informação esta necessária *a posteriori* na definição e distribuição espacial da tipologia vegetal;
- b) **tratamento digital**: composto das fases de **correção geométrica** (reamostragem dos pixels em relação a base cartográfica) e **correção atmosférica** (método de subtração do pixel escuro); aplicação das **técnicas de realce** por aumento linear de contraste e de transformação por componentes principais para destacar feições de interesse; aplicação da **técnica de segmentação** através do algoritmo de "crescimento de regiões" que gera, a partir de um pixel (i, j) uma região que contém (i, j) representada por um valor médio de nível de cinza com proximidade ao de (i, j), determinada por um parâmetro de tolerância *t* (distância Euclidiana entre vetores), considerando uma constante *A*, que determina um tamanho mínimo para cada região (Liporace, 1994); aplicação do **algoritmo de classificação** por Máxima Verossimilhança - MAXVER (Saxena et al., 1992) sendo os segmentos rotulados com base nas áreas de treinamento e de teste;

c) **integração de dados** através do SPRING, com a entrada de planos (geomorfologia, cobertura vegetal, entre outros) oriundos das imagens de satélite, fotos aéreas e material complementar, além de dados de inventário florestal (medidas de diâmetro à altura do peito - DAP, altura - H, porcentagem de cobertura de copa, identificação botânica e posicionamento das espécies na parcela) resultantes das coletas amostrais em trabalho de campo.

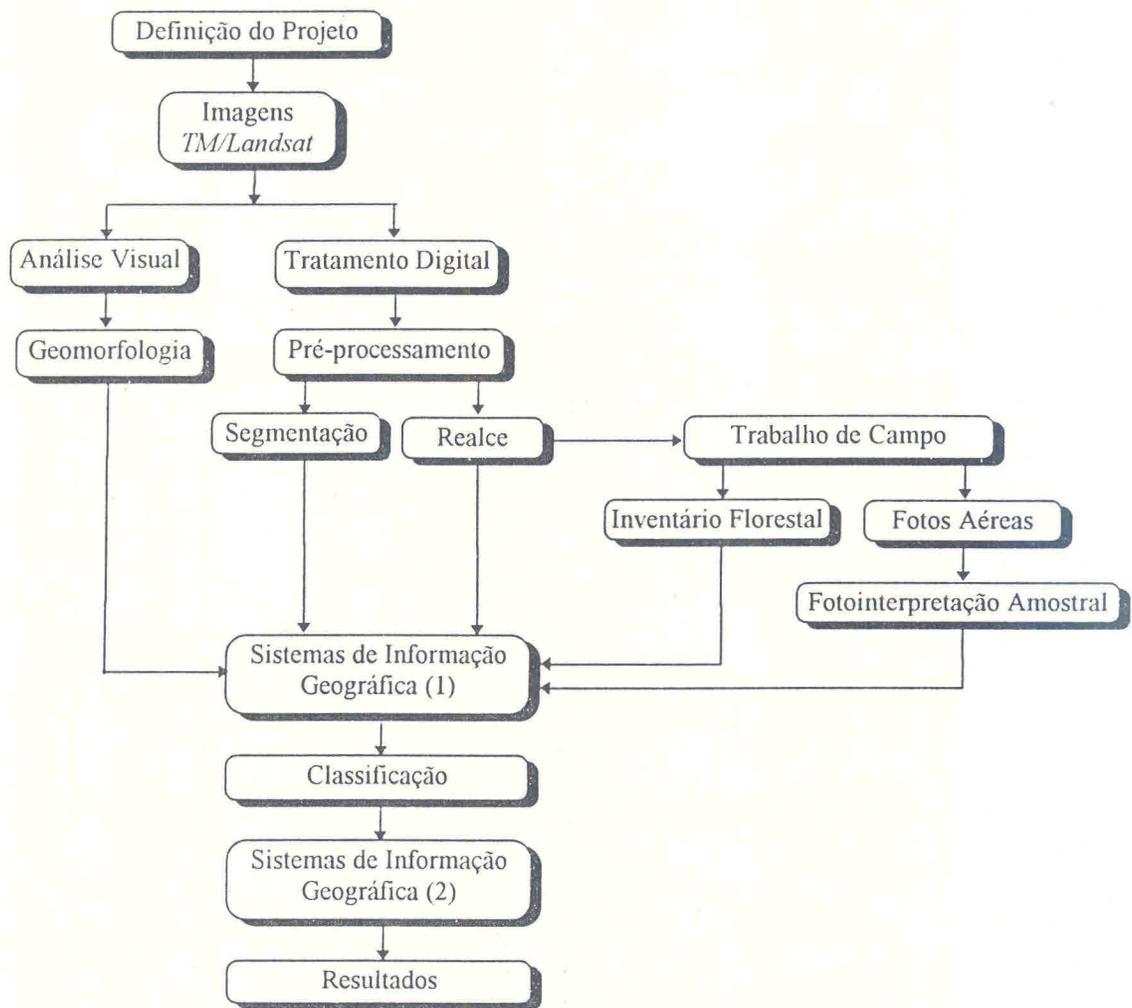


Fig. 1. Fluxograma do processo metodológico

4. Resultados

Tomando-se como base a combinação de dados do TM/LANDSAT e do aerolevanteamento da Estação de Caxiuanã a área foi estratificada em categorias básicas: floresta de terra firme (3 sub-categorias), floresta permanentemente inundada (igapó), floresta de várzea, vegetação secundária em fase intermediária, vegetação secundária em fase avançada e corpos d'água com ou sem macrófitas. Classes de interferências, como nuvens e sombra, foram delineadas também na área de estudo. Na Fig. 2, pode-se observar um trecho da imagem segmentada, por algoritmo de crescimento de regiões, o que mostra a importância do delineamento baseado no nível de cinza e do padrão textural de cada região definida.

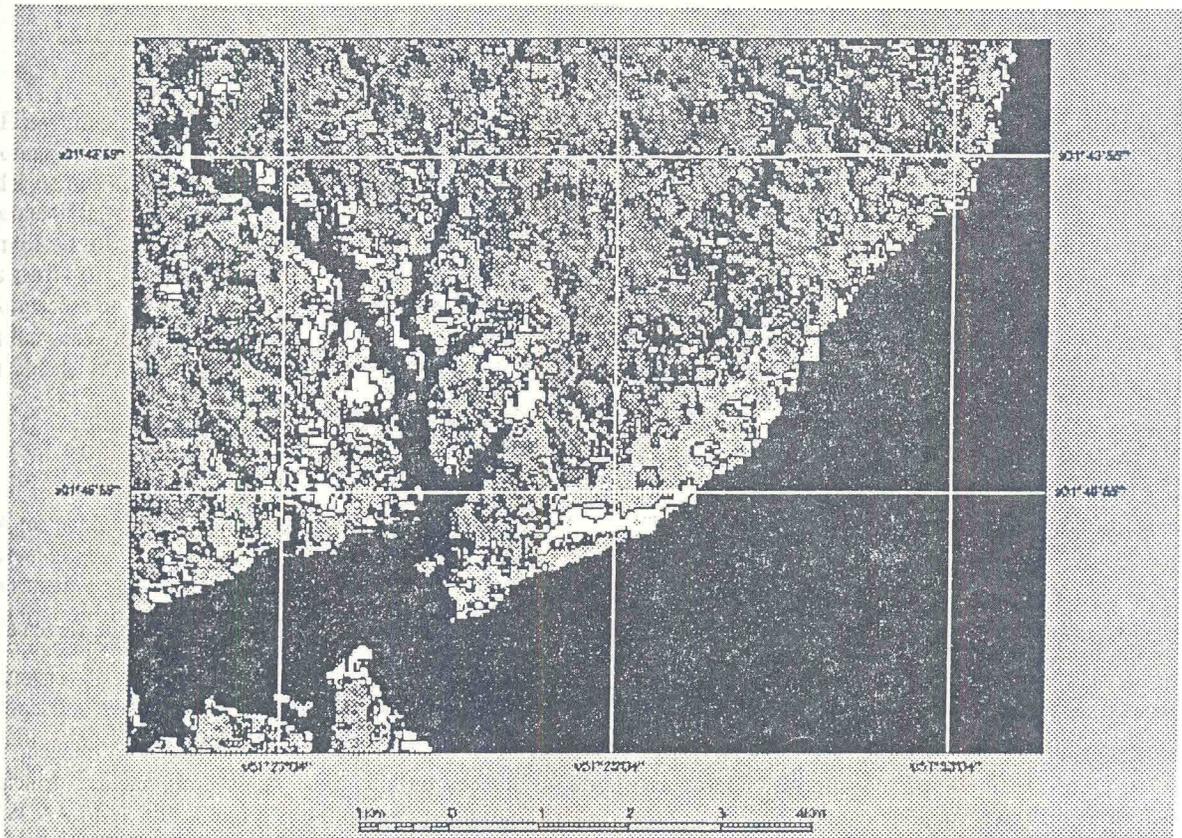


Fig. 2. Área parcial da Estação Científica de Caxiuanã em imagem segmentada. ($t = 4$; $A = 10$).

Um exame amostral de 28 fotografias coloridas (escala 1:20.000), de um total de 168 cenas do aerolevanteamento, serviram de base para uma detalhada avaliação na fase de reconhecimento de padrões nas imagens do LANDSAT. Na Fig. 3 é apresentado, como forma ilustrativa, um histograma do comportamento radiométrico de algumas classes de cobertura vegetal encontradas em Caxiuanã, obtidas a partir do processo de segmentação das imagens e posterior definição de áreas de treinamento para efetivar a classificação pelo MAXVER. É importante mencionar que as bandas passaram por um processo de correção atmosférica segundo o método de subtração do pixel escuro, com valores de níveis de cinza 47, 17, 13, 7, 2 e 0 para as bandas óticas sequencias do TM, respectivamente. Neste gráfico pode-se perceber que as bandas TM 2 e 3 apresentam uma melhor separabilidade entre as classes de floresta

de terra firme e floresta de várzea, isto em termos da variância dos valores médios de cinza; todavia, nas bandas TM 4 e 5, o intervalo de variação dos níveis de cinza da floresta de várzea está totalmente contido dentro do intervalo da floresta de terra firme, o que significa não haver separabilidade entre estas classes nas citadas bandas. Em geral, a vegetação secundária em fase avançada apresenta uma melhor discriminação em todas as 6 bandas óticas, quando comparada com os outros dois tipos de floresta analisadas.

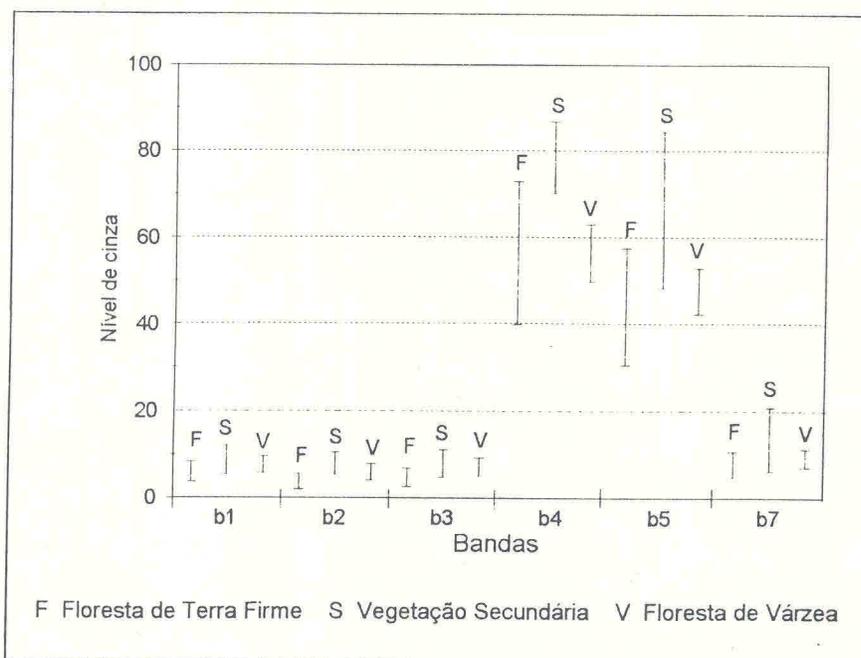


Fig. 3. Intervalo de variação dos níveis de cinza para as classes de floresta de terra firme, floresta de várzea e vegetação secundária em fase avançada.

A utilização da técnica de realce por aumento linear de contraste, no processo de pré-tratamento da imagem, teve apenas o efeito de melhoria no contraste entre as diferentes feições da imagem. Já os componentes principais permitiram obter um triplete de bandas com 99 % da variância contida no conjunto das 6 bandas do TM/LANDSAT, sendo que na primeira componente está contido 90% da variância total da cena. A banda TM 4 é a que apresenta a maior variância (58,24 % da variância total), seguida pela banda TM 5 (36,97 %). As bandas do visível (TM 1, TM 2 e TM 3) apresentaram uma variância baixa, o que era esperado dado o baixo contraste destas bandas.

Pela Tabela 1, pode-se observar que a contribuição de cada uma das bandas originais na primeira componente principal apresentam valores positivos. A maior contribuição foi dada pela banda TM 4, seguida pela banda TM 5. A segunda componente principal apresentou contribuição negativa da banda 4 e positiva das demais. Neste caso, a banda TM 5 foi a de maior contribuição. Já a terceira componente principal apresentou a maior contribuição das bandas do visível. Todo este desempenho permite visualizar, a partir do triplete das primeiras componentes principais, a diferenciação entre feições de terra firme daquelas de várzea, incluindo ainda a distinção entre fâcies de determinada cobertura vegetal.

Tabela 1. Matriz de autovalores e autovetores da imagem TM/Landsat.

Componente Principal	Auto valores		Bandas Espectrais					
	Variância	(%)	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
			Autovetores (* 100)					
1	341	90	5	6	6	78	60	11
2	27	7	6	0	6	- 62	75	20
3	6	2	64	40	58	- 1	- 18	20
4	1	0	- 24	23	- 47	0	- 8	39
5	1	0	16	- 17	- 41	4	- 17	86
6	0	0	- 7	86	- 49	- 3	2	- 4

É importante destacar que durante a fase preparatória à classificação e integração de planos em um sistema de informação geográfica (etapa final em andamento), foi executado um trabalho de campo, no qual foram adquiridos dados de inventário florestal em 27 parcelas, sendo 20 em floresta de terra firme, 6 em vegetação secundária, fases intermediária e avançada e 1 em floresta de igapó, o que totalizou 8.200 m² de área amostrada. Nesta área foram identificados botanicamente e levantados dados dendrométricos de 640 indivíduos. Na Fig. 4 pode-se constatar um dos perfis fisionômico-estrutural da categoria floresta de terra firme, coletada na área de estudo que, aliados às informações do aerolevantamento podem interpor no contexto do sistema de informação geográfica, o delineamento nas imagens orbitais e a orientação das áreas propícias e representativas para a tarefa de inventário florestal, face a dificuldade de acesso na área.

5. Conclusões

A metodologia proposta apresenta a característica de integrar dados em multi-nível, com intuito de indicar áreas representativas para a realização de inventários florestais mais detalhados em áreas de floresta tropical, o que conduz a um melhor aproveitamento dos recursos humanos e materiais, de forma de estabelecer as bases do planejamento territorial, quer seja para fins de preservação propriamente dita e/ou manejo de seus recursos florestais. O trabalho ora apresentado encontra-se em execução dentro do procedimento metodológico descrito e o resultado desta integração de técnicas e dados tem se mostrado, até o momento, promissor. A possibilidade de extrapolar informações, tendo como base a associação geomorfologia/vegetação, dentro de um padrão similar de resposta espectro-textural contida numa imagem orbital deve ser o caminho para responder, embora respeitando a escala de trabalho e a qualidade da informação contida em um pixel e/ou região (definida por segmentação/classificação), a esperada estratificação da tipologia florestal e o conteúdo de biomassa presente em determinada e ampla área de interesse, sobretudo naquilo que diz respeito à necessidade de estimativas volumétricas para exploração e também, no que tange às estimativas de percentuais de carbono, com a possível queima das áreas florestais na região Amazônica.

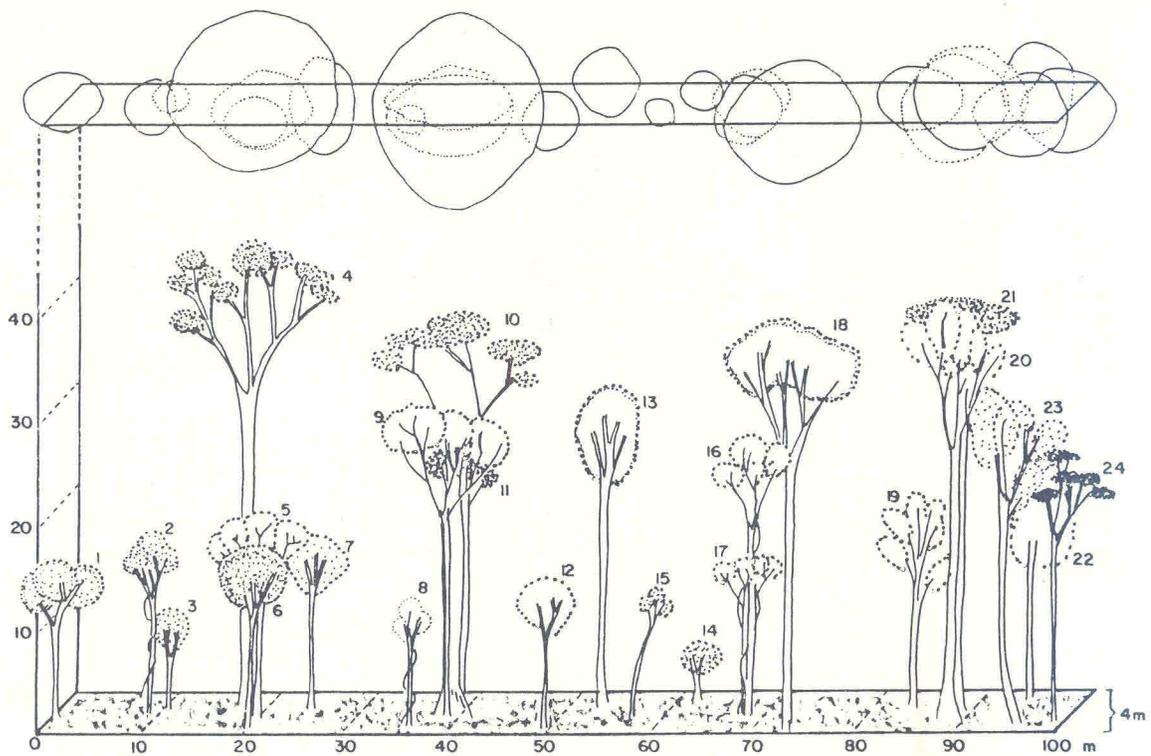


Fig. 4. Perfil fisionômico-estrutural de uma floresta de terra firme de Caxiuanã (DAP \geq 10 cm). 1. *Emmotun* cf. *acuminatum* Miers; 2. *Couratari* sp.; 3. *Franchetella* sp.; 4. *Dinizia excelsa* Ducke; 5. *Tetragastris panamensis* (Engl.) O. Kuntze; 6. *Licania* cf. *huberii* Prance; 7. *Franchetella* cf. *jariensis* Pires; 8. *Theobroma sericeum* Willd.; 9. *Protium* cf. *decandrum* (Aubl.) Marchand.; 10. *Dinizia excelsa* Ducke; 11. *Tetragastris panamensis* (Engl.) O. Kuntze; 12. Indeterminada; 13. *Manilkara amazonica* (Huber) Standley; 14. *Lacmellea aculeata* (Ducke) Monach.; 15. *Inga* cf. *graciliflora* Benth.; 16. *Tetragastris panamensis* (Engl.) O. Kuntze; 17. *Tetragastris panamensis* (Engl.) O. Kuntze; 18. *Manilkara amazonica* (Huber) Standley; 19. *Duguetia* sp.; 20. *Ormosia* sp.; 21. *Clusia grandiflora* Splitz; 22. *Ocotea* sp.; 23. *Virola michelii* Heckel; 24. *Pithecelobium racemosum* Ducke.

6. Referências Bibliográficas

- Liporace, F. dos S., (1994), Um sistema neural para monitoração do desflorestamento na região Amazônica utilizando imagens do Landsat, tese de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil. 123p.
- Projeto RADAMBRASIL, (1974), Folha SA.22. Belém: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencia da terra. Rio de Janeiro, (Levantamento de Recursos Naturais, 3)
- Saxena, K.G.; A.K. Tiwari; M.C. Porwal; and A.R.R. Menon, (1992), Vegetation maps, mapping needs and scope of digital processing of Landsat Thematic Mapper data in tropical region of south-west India. *International Journal of Remote Sensing*, 13(11), 2017-2037.
- SUDAM, (1984), Atlas climatológico da Amazônia brasileira, Ministério do Interior, Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia - SUDAM/Projeto de hidrologia e climatologia da Amazônia - PHCA. Belém, Pará. (Publicação 39).