

**O ESTUDO DOS PROCESSOS DE DESMATAMENTO DA RESERVA  
EXTRATIVISTA CHICO MENDES DE ACORDO A UMA CLASSIFICAÇÃO  
DE ECOLOGIA DA PAISAGEM INTEGRANDO IMAGENS LANDSAT E  
SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA-SIG**

Patricia **PERALTA**

Professora Visitante Departamento de Geografia - UFPR  
Ph.D – University of Nottingham

**ABSTRACT**

*The area selected for this study was the São Luis do Remanso Seringal-SLRS located inside the Chico Mendes extractive reserve in the state of Acre, western Brazilian Amazonia. Multi-temporal Landsat MSS and TM images were combined with the analytical capabilities of GIS to develop a methodology to measure, assess and monitor landcover change in the landscape. The analysis was based on the principles of landscape ecology whereby the dynamics and patterns of change are measured and analysed. Patterns of change are measured in terms of function (interaction between patches) and structure (size, shape, number, type of patches within the areas of study). The analysis was performed at three scales: global, regional and local and presented as a Ph.D thesis submitted to the Geography Department of the University of Nottingham in the United Kingdom (PERALTA, 1997). Only part of the regional analysis is presented here.*

**KEY WORDS:** GIS, remote sensing, landscape ecology, pattern, deforestation.

**RESUMO**

*A área selecionada para este estudo foi o seringal São Luis do Remanso-SSLR localizado no interior da reserva extrativista Chico Mendes no estado do Acre, região ocidental da Amazonia brasileira. Imagens dos sensores Landsat MSS para 1975 e 1985, e Landsat TM para 1989 foram integradas no Sistema de Informações Geográficas Arc/Info com o objetivo de se desenvolver uma metodologia para medir, avaliar, monitorar como também definir estratégias de diagnóstico e manejo da cobertura destas áreas. A análise foi baseada nos princípios da disciplina de Ecologia da Paisagem onde as dinâmicas e padrões de desmatamento são analisados em termos de função (interação entre as clareiras originadas pelo desmatamento) e estrutura (tamanho, número, tipo e forma de clareiras). A análise foi desenvolvida em três escalas hierárquicas: global, regional e local e apresentada como uma tese de Doutorado ao Departamento de Geografia da Universidade de Nottingham, na Inglaterra (PERALTA, 1997). Por razões de espaço somente parte da análise a nível regional é apresentada neste trabalho.*

**PALAVRAS CHAVES:** SIG, sensoramento remoto, ecologia da paisagem, padrão, desmatamento

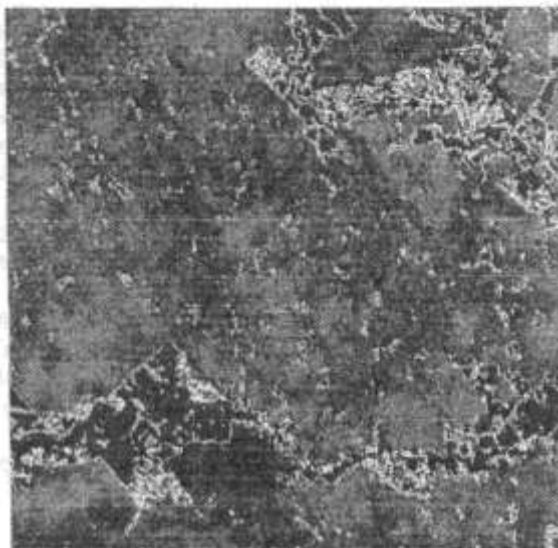
## INTRODUÇÃO

O desmatamento do seringal São Luis do Remanso (SSLR) localizado dentro da reserva extrativista Chico Mendes, no estado do Acre (Fig. 1), foi analisado estudando-se os atributos estruturais e funcionais dos elementos presentes na sua paisagem. Estes elementos foram considerados como sendo as clareiras observadas em imagens Landsat MSS e TM da área durante o período compreendido entre 1975 e 1989. Os atributos estruturais das clareiras foram definidos como sendo: extensão, forma, e índice de isolamento em relação às principais vias de acesso. A associação e análise destes dados, definidos como atributos funcionais, foram feitas no SIG ARC/INFO e complementadas com o uso de programas estatísticos externos incorporados a este software. O estudo foi conduzido em três escalas: global (toda a área), regional (subdividindo a área) e local (a nível de unidades familiares). Neste trabalho, somente o estudo na escala regional é apresentado.

O estudo a nível regional foi baseado no conceito de um sistema de classificação fundamentado na disciplina de Ecologia da Paisagem (Landscape Ecology).

O objetivo principal foi o de se identificar padrões de desmatamento que não eram perceptíveis num estudo global da área. Estes padrões por sua vez fornecem valiosas informações quanto a processos físicos e socio-econômicos na área e quanto ao seu futuro desenvolvimento.

Figura 1. Área de estudo selecionada. Observa-se o desmatamento ao longo da BR317 e as clareiras abertas pelos seringueiros no interior da floresta.



## PREPARAÇÃO DOS DADOS

A análise regional foi fundamentada na subdivisão da área de estudo, o SSLR, em unidades de estudo regionais ou unidades de paisagem. As unidades de paisagem são definidas como espaços heterogêneos compostos por ecossistemas interrelacionados (tipologias da paisagem) que são repetidos em forma similar numa determinada paisagem (FORMAN & GODRON, 1986). Em outros estudos, unidades de paisagem têm sido definidas como associações análogas espaciais onde um fenômeno é observado. A comparação e associação destes fenômenos com áreas onde ocorrem fenômenos similares possibilitam uma generalização sistemática dos dados originais. Neste sentido, estas unidades são classificadas de acordo com as suas características estruturais. Isto possibilita a identificação das suas relações funcionais como são padrões diferenciados de desmatamento (TURNER et al., 1990).

Unidades de paisagem podem ter extensão variada (definida independentemente para cada estudo) de acordo a um dado tipo de vegetação ou padrão dominante, ou a distribuição de um elemento na sua paisagem como é o caso das clareiras observadas nas reservas extrativistas. Alguns estudos têm usado esta metodologia para mapear e analisar padrões numa paisagem. WICKHAM (1994) mapeou paisagens inteiras em unidades de dois ou três tipos dominantes de vegetação. As unidades, que ele denominou de Padrões de Tipologias da Paisagem (Landscape Pattern Types-LPTs) foram combinados com dados da superfície terrestre num SIG onde grupos ou clusters de um determinado padrão foram identificados.

No Reino Unido, o Instituto de Ecologia Terrestre (Institute of Terrestrial Ecology-ITE), considerou as unidades básicas de 1 km x 1 km usadas na Rede Nacional. Diferentes tipos de unidades de paisagem foram identificados de acordo com a percentagem e combinação de vegetação encontrados nas unidades definidas. O algoritmo TWINSPLANS (HILL, 1979), um método de classificação iterativo, foi usado para se estabelecer pontos críticos de variação na combinação de tipos de cobertura vegetal presentes em cada unidade.

Um enfoque similar foi adotado para se estudar o SSLR. O objeto de estudo constitui-se na análise das características estruturais das clareiras observadas em cada unidade de paisagem. Estas características foram denominadas atributos chaves e foram definidos como sendo: o tamanho das clareiras, a forma das clareiras, e a sua localização espacial. Num estudo posterior, as unidades foram agrupadas de acordo com as suas similaridades.

Esta análise foi desenvolvida em três estágios principais:

Definição da extensão adequada das unidades de paisagem

Definição dos atributos chaves para estas unidades

Agrupamento das unidades de paisagem em mosaicos

### A EXTENSÃO DAS UNIDADES DE PAISAGEM

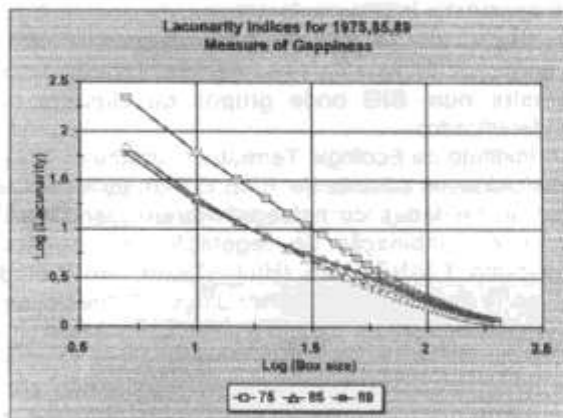
As unidades de paisagem constituíram-se na base da análise a nível regional. A extensão das unidades de paisagem foi definida com um método quantitativo através do cálculo de um índice de lacunaridade e, com um método

qualitativo através da definição de mapas binários em várias escalas de observação.

### 1. O ÍNDICE DE LACUNARIDADE

O índice de lacunaridade foi calculado nas imagens do SSLR previamente classificadas e rasterizadas a uma resolução de pixel de 60 metros. O método de classificação foi a Não Supervisionada, prévia a sua filtragem no SIG ARC/INFO. Usando-se um programa desenvolvido na linguagem Fortran<sup>1</sup> o índice de lacunaridade foi calculado para escalas de observação (janelas) de 5x5 pixels (30x30 metros) até 200x200 pixels (12000x12000 metros) com um incremento em múltiplos de 5. Conseqüentemente, 40 valores de lacunaridade foram calculados para cada época de estudo. Os resultados desta análise estão apresentados na Figura 2 onde no eixo X esta representado o valor logarítmico da escala de observação (janela) e no eixo Y esta representado o valor logarítmico dos resultados de lacunaridade.

Figura 2. Índices de lacunaridade para 1975, 1985 e 1989.



Na Figura 2 pode-se observar as diferenças obtidas nas curvas de lacunaridade das três épocas de estudo. As curvas descem linearmente até que para o mapa de 1975 a curva

<sup>2</sup> Programa escrito pelo Professor Paul Mather em 1995. Departamento de Geografia da Universidade de Nottingham.

sofre uma curvatura na escala de observação  $r = \ln 1.8$  o que representa uma escala de observação de 4x4 km. Para os mapas de 1985 e 1989 esta curvatura surge na escala  $r = \ln 1.65$  o que representa uma escala de observação de 3x3 km. Estas curvaturas no índice de lacunaridade indicam que a partir dessa escala observa-se uma distribuição mais regular dos espaços entre as clareiras. Valores altos em lacunaridade indicam espaços maiores e mais heterogêneos entre as clareiras, portanto os valores obtidos para 1975 demonstram claramente que existiam maiores áreas de floresta (menos e menores clareiras) na área de estudo neste período do que nos posteriores.

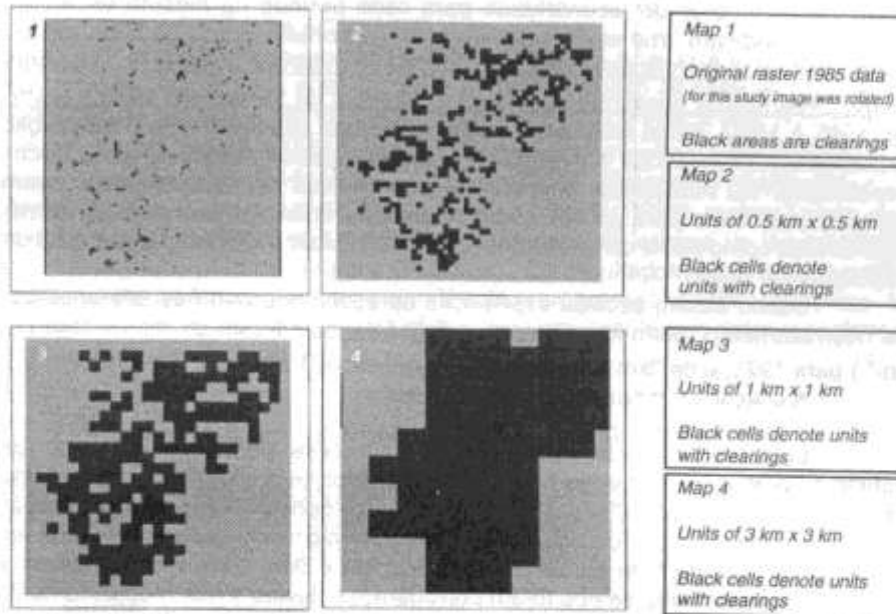
As conclusões desta análise podem ser resumidas como sendo: a). o incremento na heterogeneidade observada nos espaços entre as clareiras ao se comparar os valores de lacunaridade para cada período na mesma escala de observação indicam uma maior fragmentação da floresta nas épocas de estudo posteriores. b). a identificação de uma distribuição mais homogênea das clareiras a uma determinada escala de observação, ao redor de 16 km<sup>2</sup> em 1975 e 9 km<sup>2</sup> em 1985 e 1989. Estes resultados refletem padrões específicos de organização espacial das populações da região tais como práticas sociais e econômicas específicas. c). mudanças observadas nos índices de lacunaridade foram consideradas úteis para se identificar mudanças drásticas nas práticas socio-econômicas como são a utilização dos recursos naturais e distribuição espacial da população da região.

Sendo assim, escalas específicas apresentando padrões diferenciados de desmatamento foram identificadas. Estas escalas foram de 4km x 4km (16 km<sup>2</sup>) para 1975, e de 3km x 3km (9 km<sup>2</sup>) para 1985 e 1989.

A criação de mapas hierárquicos binários

Levando em conta os resultados da análise anterior, realizou-se um estudo qualitativo, onde mapas binários do SSLR foram produzidos em diferentes escalas de observação. Para este estudo foram consideradas três extensões hierárquicas de unidades de paisagem, onde a área de estudo foi subdividida em unidades de paisagem de aproximadamente 3 km x 3km, 1 km x 1km e 0.5km x 0.5 km. Unidades maiores não foram consideradas devido a que o objetivo desta análise era a identificação de unidades de paisagem na menor escala possível. Células que continham clareiras, ocupadas, foram classificadas com um valor de um (1). Células vazias foram classificadas com um valor de zero (0), criando-se assim mapas hierárquicos binários. Mapas que apresentaram uma maior continuidade de células ocupadas foram considerados como sendo úteis para se definir padrões de desmatamento. Usando-se um programa na linguagem AML do SIG ARC/INFO, obtiveram-se resultados para aos mapas de 1985 (Figura 3).

Figura 3. Mapas binários do SSLR em três escalas hierárquicas de unidades de paisagem.



Obs: As células escuras são unidades de paisagem que apresentaram clareiras.  
 Mapa 1: Dados originais para 1985; Mapa 2: Unidades de 0.5 km X 0.5 km;  
 Mapa 3: Unidades de 1 km X 1km; Mapa 4: Unidades de 3 km X 3km.

Como era de se esperar, mapas produzidos a uma escala de extensão de 3km x 3km apresentaram uma maior continuidade de células ocupadas sem cobrir toda a área de estudo. Estes resultados foram considerados muito similares com os obtidos nos estudos de lacunaridade (ver Figura 2). Em vista desta concordância de resultados foi assumido que esta extensão de unidade de paisagem seria a mais adequada para se realizar a análise a nível regional.

## 2. DETERMINAÇÃO DOS ATRIBUTOS ESTRUTURAIS DAS UNIDADES DE PAISAGEM

Cada unidade individual de paisagem foi caracterizada de acordo a seus atributos chave:

- tamanho das clareiras
- distribuição das clareiras
- acessibilidade das clareiras
- forma das clareiras

Estes atributos foram calculados para cada unidade de paisagem para as épocas de 1975, 1985 e 1989 usando-se a linguagem de programação AML. Inicialmente, o programa AML subdividiu a área de estudo nas unidades de paisagem desejadas (9km<sup>2</sup>) e através de uma operação de "loop" calculou a maior parte dos atributos desejados (o índice fractal e distância a vias de acesso foram calculados separadamente). Estes atributos foram então considerados como variáveis numa problemática multivariada. Cada unidade individual de paisagem foi descrita por dez variáveis diferenciadas em três épocas de estudo: 1975, 1985 e 1989.

### 3. A CLASSIFICAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO DE ACORDO AS UNIDADES DE PAISAGEM

Com o objetivo de se simplificar a análise, fez-se necessário redefinir as variáveis em grupos de variáveis interrelacionadas. Com esta finalidade, foi realizado um estudo estatístico multivariado, empregando-se a técnica de Análise de Componentes Principais-ACP. Esta análise tem sido sugerida em estudos similares (RIITERS et al., 1995), onde componentes principais de variação foram definidos para diferentes regiões de estudo com o objetivo de se identificar mosaicos regionais com características similares.

Define-se o estudo de Componentes Principais como a simplificação de um grupo de variáveis determinadas, de maneira a se definir grupos ou componentes onde as variáveis que o compõem estão correlacionadas entre si (MATHER, 1976). Neste sentido, os grupos individuais de variáveis ou Componentes Principais não apresentam correlação alguma e são representados como vetores ortogonais no espaço teórico. A extensão destes vetores é chamada de "eigenvalues" e representa a percentagem de variabilidade que é descrita por esse grupo de variáveis (EBDON, 1985. JOHNSTON, 1980). Esta técnica é bastante utilizada e pode ser mais profundamente entendida estudando-se a extensa bibliografia existente sobre análises estatísticas multivariadas.

No presente estudo, a técnica de Componentes Principais foi aplicada às variáveis previamente definidas para cada unidade de paisagem. Estas variáveis foram previamente padronizadas devido às suas diferentes unidades de medida.

Nove (9) componentes principais foram identificados, dos quais os primeiros quatro apresentaram eigenvalues iguais ou maiores a 1.0 e descreveram mais do 80% da variabilidade presente nos dados. Os resultados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Eigenvalues e percentagem de variabilidade de quatro componentes principais em cada época

Component	1975		1985		1989	
	Eigenvalue	%variance	Eigenvalue	%variance	Eigenvalue	%variance
I	3.2	36	3.3	37	2.8	31
II	2.5	28	2.4	26	2.5	28
III	1.2	13	1.2	13	1.2	13
IV	1.0	10	1.0	10	1.0	11
Total	7.9	87	7.9	86	7.5	83

Sendo que estes resultados indicam que algumas variáveis apresentaram valores elevados em mais de um componente principal, foi assumido que cada uma delas pertenceria ao grupo ou componente onde ela tivesse apresentado o valor mais alto. Neste sentido, foi possível efetuar uma caracterização individual dos componentes principais obtidos. Os resultados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores e categorização dos componentes I, II, III e IV para todas as épocas

Variables	Component I			Component II			Component III			Component IV			CA
	75	85	89	75	85	89	75	85	89	75	85	89	
AvgSize	-0.8	0.68	0.9	-0.5	0.63	0.06	0.1	0.0	0.0	-0.0	0.27	-0.1	
		1					7	2	3				
MinSize	-0.7	-0.0	0.2	-0.5	0.76	0.63	0.1	0.3	-0.5	-0.0	-0.3	-0.1	I
		5					9	8					
MaxSize	-0.9	0.85	0.7	-0.1	0.22	0.54	0.0	-0.1	-0.2	0.0	0.34	-0.1	
		5					6			2			
PerClear	-0.9	0.96	0.9	0.35	0.00	-0.2	0.0	-0.1	-0.1	0.1	0.15	0.0	
		2					0			1			
Freq	-0.4	0.73	0.3	0.88	-0.5	-0.9	-0.6	0.1	-0.1	0.0	-0.3	0.0	II
		5					0			9		9	
Density	-0.4	0.73	0.3	0.88	-0.5	-0.9	-0.1	0.1	-0.1	0.0	-0.3	0.0	
		4					0			8		6	
D_Compli	0.12	0.28	0.1	0.13	0.69	-0.0	0.8	0.3	0.5	-0.1	-0.3	-0.8	
		0					3	9	4				
DistRiv	0.23	0.06	0.3	-0.1	0.21	0.18	0.2	-0.7	0.6	0.9	-0.4	0.3	III/I
		1					5		9			2	V
DistRoa	0.22	0.02	-0.3	0.45	-0.5	-0.4	0.5	0.5	-0.3	-0.2	0.09	-0.5	
							8	7					



A Tabela 2 mostra que o Componente Principal é composto principalmente por variáveis relativas ao tamanho e impacto das clareiras, portanto foi categorizado como um indicador de "Intensidade de Desmatamento". O Componente II apresentou valores altos em variáveis referentes a frequência e densidade espacial das clareiras, portanto foi considerado como um indicador da "Distribuição Espacial das Clareiras". Os Componentes III e IV apresentaram valores altos em variáveis relativas à forma e acessibilidade das clareiras, e foram definidos como indicadores de "Uso do Solo e Acessibilidade".

Comparando-se os valores obtidos em termos de valor de Componentes Principais para cada unidade de paisagem nas três épocas de estudo analisadas, identificaram-se mosaicos de unidades de paisagem com características similares dentro da área de estudo. Desta forma foi possível se estabelecer a evolução temporal da área de estudo a nível regional de acordo a padrões de desmatamento diferenciados.

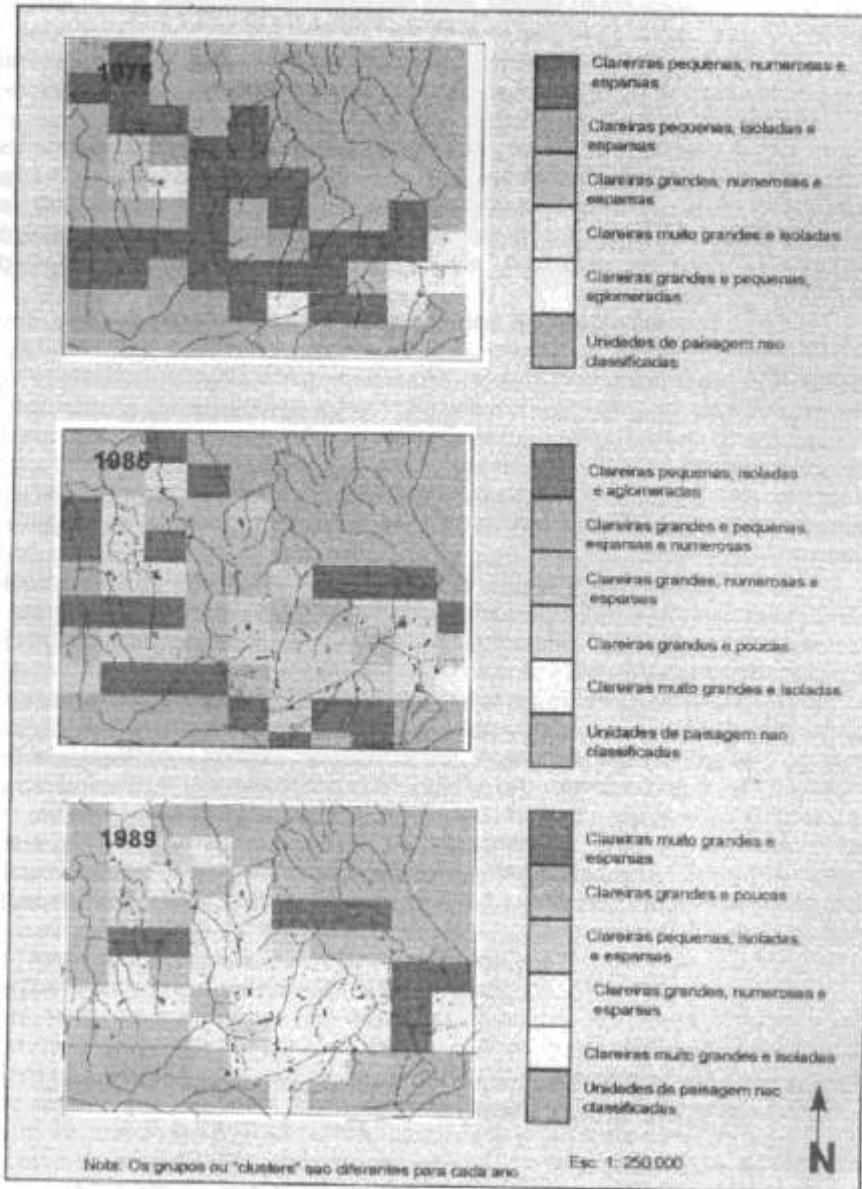
Para se classificar as unidades de estudo de acordo aos seus Componentes Principais empregou-se outra técnica estatística multivariada, a "Análise Não Hierárquica de Clusters" (Non-Hierarchical Cluster Analysis-NCA). Com esta técnica, as unidades de paisagem foram agrupadas de acordo com a combinação do seus Componentes Principais. Ao se usar esta técnica de agrupamento deve-se notar que diferentes resultados são obtidos de acordo com o número de grupos ou "clusters" selecionados. Para se simplificar a interpretação dos resultados e evitar a criação de clusters similares, foi definida a utilização de 5 clusters.

Esta análise foi realizada através de um programa já existente no Departamento de Geografia da Universidade de Nottingham<sup>2</sup>, sendo que o mapeamento espacial das unidades de paisagem foi feita no SIG ARC/INFO através de um programa AML.

Cada cluster foi então caracterizado conceitualmente de acordo às suas características mais notórias como o número, tamanho e distribuição das clareiras. Apesar de ser esta uma caracterização apenas exploratória das características das unidades de estudo, ela proporciona um entendimento conceitual de cada cluster em cada época de estudo. A localização espacial dos clusters proporciona uma 'classificação' da área e permite visualizar a sua evolução temporal. É importante ressaltar que as características de cada cluster foram diferentes para cada ano de estudo. Os resultados desta análise estão descritos na Figura 4.

<sup>2</sup> Programa escrito por David Ebdon em 1985, Departamento de Geografia da Universidade de Nottingham

Figura 4. Resultados da Agrupação Não-Hierárquica das unidades de paisagem em clusters (grupos) com a respectiva categorização dos clusters para cada época.



## CONCLUSÕES

O principal objetivo deste estudo era o de se definir regiões, formadas por unidades de paisagem, dentro da área de estudo que sofrem processos de desmatamento diferenciados. Ao mesmo tempo, a caracterização específica das unidades de paisagem para cada época de estudo e a determinação da sua localização espacial entende-se que permitiram o entendimento da evolução temporal destas regiões de acordo a atividades antrópicas e características ecológicas específicas.

Esta análise é considerada inovadora devido às seguintes informações: identifica processos de desmatamento diferenciados por regiões, muitas vezes não percebidos numa escala de observação maior; facilita a localização de regiões que sofrem uma maior pressão ambiental; permite a determinação de padrões específicos de desmatamento e o estudo da evolução temporal do desmatamento a nível regional; aponta processos socio-econômicos relativos à utilização do espaço e à floresta pelas populações tradicionais que habitam na área.

Neste sentido as conclusões obtidas para a área da reserva extrativista Chico Mendes analisada, são as seguintes:

Observou-se que em 1975 a área era dominada por unidades contendo pequenas clareiras distribuídas na floresta, e que em 1989 a mesma tinha se tornado dominada por unidades contendo clareiras de grande extensão. Isto foi interpretado como o desaparecimento de pequenas clareiras, ou a fusão de clareiras através do aumento das já existentes. Isto evidencia que a área de estudo sofreu um processo de desmatamento irregular, onde algumas regiões foram mais afetadas do que outras.

Dois polos de desmatamento mais pronunciados foram identificados: um localizado na região sudeste e outro na região noroeste. A região sudeste da reserva esta localizada ao longo da BR-317 o que sugere uma relação direta entre a presença da estrada e a intensidade de desmatamento na região. A região noroeste da reserva que sofreu mais desmatamento encontra-se situada próxima ao rio Acre. Estas conclusões sugerem uma relação entre as vias de acesso e a intensidade do desmatamento observado na área, sendo que áreas situadas na proximidade das vias de acesso podem ser consideradas áreas de maior risco em relação a desmatamento e invasão.

A principal direção de desmatamento foi identificada como sendo originada a partir das estradas em direção ao interior da reserva. Ao se comparar a distribuição de unidades de paisagem com um maior desmatamento para todas as épocas de estudo, observou-se que as mesmas seguiam esta direção, enquanto que unidades localizadas no interior da reserva não apresentavam maiores alterações.

Observou-se igualmente que durante os 14 anos de estudo (1975-1989) a área apresentou uma maior diversidade quanto a intensidade de desmatamento. No período compreendido entre 1975 e 1985 há criação de novas clareiras, sendo que no período de 1985 a 1989 há um aumento das clareiras já existentes. Isto sugere que durante o primeiro período novas famílias instalaram-se na área e abriram novas clareiras de pequena extensão, enquanto que no segundo período não houve maior imigração mas sim um aumento das unidades

familiares existentes e possivelmente uma diversificação na produção, o que explica o aumento no tamanho das clareiras já existentes.

#### BIBLIOGRAFIA

- EBDON, D. (1985) **Statistics in Geography**. Blackwell, UK. pp. 232.
- FORMAN, R.T.T., GODRON, M. (1986) **Landscape Ecology**. John Wiley and Sons. New York. USA.
- HILL, M.O. (1979) **TWINSpan-a FORTRAN program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes**. Section Ecologia and Systematics. Cornell University, Ithaca, New York, USA.
- JOHNSTON, R.J. (1980) **Multivariate Statistical Analysis in Geography**. Longman Scientific & Technical. Harlow. UK. pp. 280.
- MATHER, P.M. (1976) **Computational Methods of Multivariate Analysis in Physical Geography**. John Wiley & Sons. UK. Pp. 121-131.
- PERALTA, L.P. (1997) **A Landscape Ecological Assessment of the Development of the Extractive Reserves of Brazilian Amazonia by integrating Remote Sensing and GIS Analysis**. Tesis de Doutorado (Ph.D.) apresentado ao Departamento de Geografia da Universidade de Nottingham, Inglaterra.
- RIITTERS, K. H., O'NEILL, R.V., HUNSAKER, C.T. WICKHAM, J.D., YANKEE, D. T. TIMMINS, S.P., JACKSON, B. L. (1995) **A factor analysis of landscape patterns and structure metrics**. *Landscape Ecology*. SPB Academic Publishing. The Hague. Vol. 10. No.1. pp. 23-39.
- TURNER, S.J., O'NEILL, R., CONLEY, W., CONLEY, M., HUMPRIES, H.C.. (1990) **Patterns and Scale: statistics in landscape Ecology**. In **Quantitative Methods in Landscape Ecology**. 1990. Edited by Turner, M., Gardner, R. Springer Verlag. New York. USA. pp. 17-49.
- WICKHAM, J. D., NORTON, D. J. (1994) **Mapping and analysing landscape patterns**. *Landscape Ecology*. SPB Academic Publishing. The Hague. Vol. 9. No.1. pp. 7-23.