UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Instituto de Biociências

Utilização de Geoprocessamento e Sensoriamento
Remoto Orbital para análise espacial de paisagem
com incidência de Leishmaniose Tegumentar
Americana.

CRISTINA APARÍCIO

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências da
Universidade de São Paulo, para a obtenção de Título de
Mestre em Ciências, na Área de Ecologia de Ecossistemas
Terrestres e Aquáticos.

Orientadora: **Profa. Dra. Marisa Dantas Bitencourt**

São Paulo
2001

APARICIO, CRISTINA

Utilização de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto Orbital para análise espacial de paisagem com incidência de Leishmaniose Tegumentar Americana.

Número de páginas: 92

Dissertação de Mestrado - Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Departamento de Ecologia

Palavras-Chave:

1. Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, 2. Leishmaniose Tegumentar Americana, 3. Epidemiologia Paisagística.

I. Universidade de São Paulo. Instituto de Biociências. Departamento de Ecologia.

Comissão Julgadora:

Prof(a). Dr(a).

Prof(a). Dr(a).

Prof(a). Dr(a).

Prof(a). Dr(a).

Prof(a). Dr.(a).
Orientador(a)

*Para tudo há um tempo,
para cada coisa há um momento debaixo dos céus:
tempo para nascer, e tempo para morrer;
tempo para plantar, e tempo para arrancar o que foi plantado;
tempo para matar, e tempo para sarar;
tempo para demolir, e tempo para construir;
tempo para chorar, e tempo para rir;
tempo para gemer, e tempo para dançar;
tempo para atirar pedras, e tempo para ajuntá-las;
tempo para dar abraços, e tempo para apartar-se.
Tempo para procurar, e tempo para perder;
tempo para guardar, e tempo para jogar fora;
tempo para rasgar, e tempo para costurar;
tempo para calar, e tempo para falar;
tempo para amar, e tempo para odiar;
tempo para a guerra, e tempo para a paz.*

em: Eclesiastes, na Bíblia.

AGRADECIMENTOS

A Deus, acima de tudo;

À minha orientadora, Professora Marisa Dantas Bitencourt, pela confiança e apoio, tanto no mestrado, como pessoais;

À D. Lourdes, ‘Seu’ Olival e Ricardo, minha família, pelo carinho e apoio em toda a minha vida;

Ao Marcio Luis Ferreira Nascimento, o Marcinho, pelo carinho permanente, pela paciência em todos os momentos, e pela inestimável ajuda;

Ao Luiz Cleber Tavares de Brito, pelas preciosas contribuições à dissertação e a meus conhecimentos musicais, pela amizade e pelos saraus da vida;

Ao Dr. Ismael P. D. da Costa, que colaborou imensamente para meu trabalho de campo e me forneceu a lista de casos através da SUCEN – SP, além de colaborar para a elaboração da digitalização das Cartas e fornecer também a imagem do Landsat ETM-7;

Aos queridos *Amigos* Juliana, Cristiane, Adelgício (o Gigio), Angela, Carlos Lopes, Fernando (Piuí) e Lúcia, por suportarem comigo meus momentos de TPM, além dos bons momentos é claro...;

Aos colegas de laboratório Luigi, Alejandro, Paqui, Humberto, Paula Guedes, Marina, Jorge, Silene e Ana Cristina, pelo companheirismo e contribuições ao trabalho;

Ao Professor Waldir Mantovani, que me presenteou tanto com aulas de Ecologia maravilhosas, como me ajudou com a inicialização de meu projeto;

À Professora Gisela Shimizu, que me auxiliou no período de qualificação;

À CAPES, cujo apoio financeiro foi imprescindível para a conclusão deste trabalho;

Aos funcionários Wilminha, Sr. Irineu, Claudia, Andrea, Helder, Vera e Bernadete, por me ajudarem com todos os trâmites burocráticos.

E a todos aqueles que me amaram pelo que sou e que me ensinaram um pouco mais da vida.

Sumário*Página:*

<i>AGRADECIMENTOS</i>	iv
<i>RESUMO</i>	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
<i>INTRODUÇÃO GERAL</i>	ix
 CAPÍTULO I- CONCEITOS SOBRE EPIDEMIOLOGIA PAISAGÍSTICA E SUA ABORDAGEM PARA A LEISHMANIOSE TEGUMENTAR AMERICA	
I.1 – INTRODUÇÃO	1
I.2 – EPIDEMIOLOGIA PAISAGÍSTICA OU AMBIENTAL	2
I.2.1 – CONCEITOS BÁSICOS SOBRE EPIDEMIOLOGIA	4
I.2.2 – A EPIDEMIOLOGIA PAISAGÍSTICA	4
I.3 - LEISHMANIOSE TEGUMENTAR AMERICANA	5
I.3.1 – AS LEISHMANIOSES	6
I.3.2 - CICLOS DE TRANSMISSÃO E ASPECTOS EPIDEMIOLÓGICOS DA LEISHMANIOSE TEGUMENTAR AMERICANA	7
I.3.3 – DIAGNÓSTICOS, TRATAMENTOS, CONTROLE E PROFILAXIA DA LTA	12
I.3.4–EXEMPLOS DE ESTUDOS SOBRE LTA QUE LEVARAM EM CONSIDERAÇÃO A PAISAGEM CIRCUNDANTE	13
 CAPÍTULO II – SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, SENSORIAMENTO REMOTO E PAISAGEM: INTEGRANDO CONHECIMENTOS PARA ANÁLISES EPIDEMIOLÓGICAS	
II.1- INTRODUÇÃO	17
II.2– FUNDAMENTOS DO GEOPROCESSAMENTO	18
II.3- O SENSORIAMENTO REMOTO E A PROPRIEDADE DE COMPREENDER A DISTÂNCIA	20
II.3.1: COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE ALVOS	21
II.3.2 - AQUISIÇÃO E ANÁLISE DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL	23
II.4 – O USO DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO NA EPIDEMIOLOGIA: UMA NOVA ABORDAGEM DA PAISAGEM	27
II.4.1 - DE HIPÓCRATES À NASA: A EVOLUÇÃO DA EPIDEMIOLOGIA PAISAGÍSTICA COM A UTILIZAÇÃO DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO	29
II.4.2 - EXEMPLOS DA APLICAÇÃO DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO À EPIDEMIOLOGIA PAISAGÍSTICA DE DOENÇAS TRANSMITIDAS POR VETORES	30

**CAPÍTULO III – APLICAÇÃO DE GEOPROCESSAMENTO E
SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL PARA A ANÁLISE PAISAGÍSTICA
DA LEISHMANIOSE TEGUMENTAR AMERICANA**

III.1 – INTRODUÇÃO	34
III.2.1 – LOCAL DE ESTUDO	35
III.2.2 – METODOLOGIA	39
III.3 – RESULTADOS	43
III.4 – DISCUSSÃO	47
III.5 – CONCLUSÕES	49
III.6 – FIGURAS	50

**CAPÍTULO IV – ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS PARA AVALIAR
A EVOLUÇÃO DE UMA PAISAGEM COM INCIDÊNCIA DE LEISHMANIOSE
TEGUMENTAR AMERICANA**

IV.1 – INTRODUÇÃO	65
IV.2 – METODOLOGIA DO ESTUDO	66
IV.3 – RESULTADOS	72
IV.4 – DISCUSSÃO	75
IV.5 – CONCLUSÕES	78
IV.6 – FIGURAS	79
V – CONCLUSÕES GERAIS	84
VI- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86

RESUMO

A Epidemiologia Paisagística parte da premissa de que, se conhecendo as exigências ambientais dos transmissores e reservatórios de doenças, é possível prever riscos epidemiológicos através do conhecimento das variáveis ambientais. Muitas destas variáveis podem ser quali e quantificadas através do uso de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto (S.R.). A análise paisagística da incidência de Leishmaniose Tegumentar Americana (LTA) é necessária na medida em que pode ajudar a esclarecer o complexo ciclo de transmissão da doença. O objetivo deste trabalho foi o de analisar a influência de algumas importantes variáveis ambientais relacionadas à LTA, que são altitude, densidade de vegetação e desmatamento, na incidência dos casos. Foram mapeadas as possíveis Zonas de Risco de Contato (ZoRC) entre o homem e o mosquito transmissor, e foram observadas as alterações temporais ocorridas na vegetação. Para mapear as ZoRC, inicialmente foram delimitados os fragmentos de vegetação, identificáveis em imagens de satélite, considerados aqui como habitats dos mosquitos. As bordas dos fragmentos foram expandidas em 250, 500 e 1000 metros, gerando as possíveis ZoRC. Dentro destas ZoRCs foram quantificadas as áreas relativas às classes de altitude, obtidas do Modelo de Elevação Digital, bem como as classes de vegetação, obtidas da imagem Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (IVDN). A variação temporal da vegetação foi feita a partir da Análise de Componentes Principais (ACP) de duas imagens de satélite (1992 e 1999), sendo que apenas a segunda Principal Componente (PC2) foi classificada e analisada. Os resultados mostraram que cerca de 50% das casas onde houve LTA se encontram em uma distância menor que 200 metros da borda de algum fragmento de mata; que mais que 70% das áreas totais das ZoRC em cada distância se encontram em altitudes menores que 750 metros; e também que cerca de 50% das ZoRC, em cada distância, apresentavam uma área verde muito densa (IVDN variando de 0,45 a 1). A alta porcentagem de área encontrada no intervalo de altitude mencionado concorda com as observações de Gomes & Neves (1998) sobre as condições de sobrevivência do mosquito transmissor na área de estudos, que costuma ser encontrado em altitudes de até 750 metros. O intervalo de IVDN alto encontrado em mais metade das ZoRC, pode estar indicando a necessidade de haver área verde suficientemente densa, espalhada ao redor dos fragmentos de mata, para que o mosquito consiga alcançar as habitações humanas. O fato de o resultado da análise das porcentagens de área relativa às classes de altitude e IVDN mostrar o mesmo padrão tanto para as distâncias de 250, quanto de 500 e de 1000 metros indica que o epidemiologista pode optar por qualquer das três distâncias que obterá resultados semelhantes. A ACP, mostrou-se muito apropriada na medida em que foi possível observar pelo menos duas grandes áreas onde o desmatamento parece ter influenciado no aparecimento dos casos. Os resultados das análises realizadas concordam com a possibilidade de que a transmissão esteja sendo influenciada por: (1) presença de vegetação suficientemente densa ao redor dos fragmentos facilita uma dispersão dos mosquitos a distâncias maiores que 250 metros ou (2) ocorrência de um processo de domiciliação dos mosquitos transmissores na área de estudos.

ABSTRACT

The Landscape Epidemiology assumes that, knowing the requirements of the vectors and reservoirs of illnesses environment, it is possible to foresee epidemiologists risks through the knowledge of the environment variables. Many of these variables can be qualified and quantified through the use of Geoprocessing and Remote Sensing (RS). The landscape analysis of Cutaneous Leishmaniasis (CL) incidence is necessary because it can help to clarify the complex cycle of transmission of the illness. The objective of this work was to analyze the influence of some important environment variables related to the CL, such as altitude, vegetation density, and deforestation, within the incidence cases zones. The Contact Risk Zones (CoRZ) between man and CL vector were delimited and were observed from the view point of the vegetation temporal evolution. To map the CoRZ, the vegetation remnants were initially delimited in a satellite images, considering woods as the vector habitats. These limits were expanded according to flight range criteria (1000, 500 and 250 meters), generating the CoRZ maps. Inside those zones, for each criterion, altitude classes were extracted from Digital Elevation Model, and vegetation class were extracted from NDVI image. The vegetation temporal evolution was obtained with temporal Principal Component Analysis (PCA) of two satellite images (1992 and 1999), in which only second Principal Component (PC2) was classified and analyzed. It was verified that about 50% of the houses with CL cases, were found to be in a lesser pitch of 200 meters from the edge of some remnant; that more than 70% of the total areas of the CoRZ, in each criterion, were found in altitudes lesser than 750 meters; and that about 50% of the CoRZ, in each criterion, presented very dense green area (NDVI varying from 0.45 to 1). The high percentage of area found in the mentioned interval of altitude corroborates with Gomes & Neves (1998) on the survival conditions the vector, which is found to be in altitudes lesser than 750 meters. The NDVI interval found indicate the possibility that must be enough dense green area, spread around the remnants, so that the mosquitoes can reach human dwellings. The result of the relative area percentages analysis of altitude and NDVI, in each criterion, showed to be similar. Those results indicate that the epidemiologist can opt to any one of the three criterion to simulate their risk area, helping for prophylaxis and control programs. The PCA is shown to be very appropriate to measure the vegetation temporal variation, partially because it was possible to observe at least two great areas where the deforestation seems to have influenced the CL cases appearance. The results of analyses agree with the possibility of that the transmission is being influenced by: (1) presence of enough dense vegetation around of the remnants allowing the vector dispersion to distances bigger than 250 meters or (2) occurrence of a domestication process of the vector in the study area.

INTRODUÇÃO GERAL

A partir do estudo da paisagem é possível obter indicadores da distribuição espacial de certas doenças, e a área do conhecimento que estuda esses indicadores é a Epidemiologia Paisagística. Há muitas enfermidades que apresentam interações com a paisagem onde ocorrem, principalmente devido à relação entre a manutenção do ciclo de vida dos vetores na natureza, e à presença humana. A Leishmaniose Tegumentar Americana (LTA), uma das muitas variantes das *leishmanioses*, é uma das doenças cuja incidência pode ser estudada na Epidemiologia Paisagística.

O agente etiológico da LTA no estado de São Paulo é o *Leishmania (Viannia) brasiliensis*, o qual é transmitido por diferentes espécies de mosquitos *flebótômíneos* do gênero *Lutzomyia spp.* Esses flebótômíneos têm nas matas seu *habitat* primitivo, e as fêmeas geralmente transmitem a doença à noite, enquanto exercem seu hábito hematofágico. A enfermidade ocorre nas populações cujos indivíduos têm atividades que os levam ao contato estreito com o ambiente florestal, tais como derrubadas de matas e ações extrativistas, e construção de estradas. A transmissão também pode ocorrer nas habitações próximas dos ambientes florestais, que se encontrem ao alcance dos transmissores. Este último tipo de transmissão configura uma endemia em região de povoamento recente, sendo característica do tipo de exploração agrícola seguida no continente Sul-Americano. Nessas circunstâncias pode-se registrar níveis endêmicos muito elevados, com a ocorrência de grandes surtos epidêmicos atingindo a população, independente da idade, sexo ou grupo étnico (Forattini 1973). No estado de São Paulo, o fato de a cobertura florestal primitiva ter sido quase dizimada, restando alguns remanescentes e inúmeros resíduos, os quais somam aproximadamente 4% do que existia anteriormente, contribuiu para o aumento da incidência da doença no estado (Tolezano 1994).

A análise da paisagem voltada para a Epidemiologia não é recente; no entanto a utilização de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto podem ser consideradas assim. Os benefícios destas tecnologias para a Epidemiologia são muitos: é possível produzir mapas de localização, quali e quantificação de aspectos ambientais relacionados à doença, como cobertura vegetal, corpos d'água e urbanização, além de permitir realizar previsões de distribuição e previsão de incidência das enfermidades.

A possibilidade de se estudar a LTA a partir da análise da paisagem vem da reunião destes fatores importantes: a presença de mata nas proximidades das casas, a atividade noturna das fêmeas, e a capacidade de vôo dos flebotomíneos, que costuma variar de 250 a 500 metros, segundo Forattini (1973). Para quantificar e analisar estes fatores no âmbito da LTA, o Geoprocessamento e o Sensoriamento Remoto Orbital podem ser ferramentas úteis, já que é possível a identificação dos fragmentos de mata em imagens de satélite; e também é possível relacionar estes fragmentos a fatores como altitude e densidade de vegetação através do Geoprocessamento. Utilizou-se então imagens de satélite e dados cartográficos para buscar padrões de distribuição de LTA no município de Itapira - SP, através da reconstrução do ambiente físico onde ela ocorre e do manuseio de informações entre mapas temáticos diversos.

O município de Itapira, no interior do estado de São Paulo, foi escolhido como área de estudos tanto pelo fator *incidência elevada de casos* como pelo fato de a região ser acessível nos sentidos espacial e econômico. A localização e visita dos pontos de coleta foi possível graças à colaboração da SUCEN (Superintendência de Controle de Endemias).

Os objetivos deste trabalho são: estabelecer as possíveis Zonas de Risco de Contato (ZoRC) entre o homem e o mosquito transmissor, baseadas nos dados de incidência de casos entre 1992 e 1997; verificar os possíveis modos de transmissão atuais da LTA no município; e analisar as possíveis influências do desmatamento na incidência da doença. Pretende-se, com o estabelecimento das ZoRCs, facilitar a localização das áreas endêmicas da LTA, e de pontos de coleta de mosquitos, permitindo ao profissional da Saúde pública que realize estudos neste sentido sem necessitar de longas viagens ao campo.

Tendo em vista a complexidade teórica deste trabalho, que conta com a participação de temas das áreas de Ecologia, Epidemiologia e Geografia, ele foi dividido em capítulos, como explicado a seguir.

Os dois primeiros são de caráter informativo, visto a diversidade de temas. O Primeiro Capítulo relata os conceitos básicos de Epidemiologia Paisagística e LTA, além de fornecer uma revisão da literatura onde se relaciona a incidência da LTA à paisagem. O Segundo Capítulo propicia uma explanação dos conceitos envolvidos em Geoprocessamento e em Sensoriamento Remoto Orbital, contendo também uma breve

revisão sobre os trabalhos publicados com análises de Epidemiologia Paisagística e que envolveram o uso destas ferramentas.

No Terceiro Capítulo foi realizada a modelagem das áreas de Risco de Contato entre o homem e os mosquitos transmissores da LTA, através da utilização do Geoprocessamento e do Sensoriamento Remoto Orbital. Visto que os flebotomíneos são sensíveis à altitude e a condições de temperatura e umidade, verificamos as possíveis influências destas variáveis nas áreas onde houve incidência da doença. Isto foi realizado através da confecção de um Modelo de Elevação Digital do terreno, onde se podem verificar as altitudes encontradas no município, e de um mapa com Índices de Vegetação, o que possibilitou analisar indiretamente as condições de umidade e temperatura das áreas afetadas.

No Quarto Capítulo foi realizada uma análise temporal com a finalidade de apontar as alterações da paisagem, principalmente desmatamento, ocorridas nos locais onde houve a doença. Para tanto, foi realizada uma Análise de Componentes Principais (ACP) de duas datas.

CAPÍTULO I- CONCEITOS SOBRE EPIDEMIOLOGIA PAISAGÍSTICA E SUA ABORDAGEM PARA A LEISHMANIOSE TEGUMENTAR AMERICANA.

I.1 – Introdução

Considera-se um ecossistema *saudável* quando são mantidas sua estrutura e função através do tempo, em face a perturbações externas. Estes ecossistemas fornecem aos seres humanos provisões alimentares, água e ar puros, dentre outros importantes benefícios. Vidas humanas saudáveis não podem ser separadas de um ambiente saudável (Kochtcheeva & Singh 2000), e quando o ecossistema é alterado, também se alteram as condições de saúde humana.

As alterações naturais, assim como as antrópicas, vêm ocasionando mudanças e degradação nos ecossistemas. As mais impactantes são as ações antrópicas: o desenvolvimento e intensificação da agricultura, a industrialização, o aumento do consumo energético e a urbanização - tudo isso levando a extensas taxas de desmatamentos. O desmatamento está ligado a mudanças no uso de terras agrícolas, e é com frequência uma consequência da agricultura do tipo extensiva (Hunter 1996). Tem-se o conhecimento de que quase 40% da superfície da Terra foi convertida em áreas agrícolas ou pastagens e metade das florestas tropicais do planeta já foram destruídas ou degradadas (Kochtcheeva & Singh 2000). Em muitos casos as doenças transmitidas por vetores estão relacionadas à presença de florestas. A destruição destas florestas pode levar a eliminação de patógenos e vetores relacionados a certas doenças, ou pode forçar a adaptação destes animais a outros ambientes que não necessariamente as florestas.

As atividades humanas que resultam na degradação dos ecossistemas e as mudanças no comportamento humano podem ser responsáveis pela incidência e distribuição de várias doenças. Como possíveis resultados de mudanças ambientais durante os últimos 20 anos, cerca de 30 novas doenças emergiram, entre elas HIV/AIDS, ebola, antavírus, uma nova linhagem de cólera, e um grande número de patógenos resistentes a antibióticos. Também há registros do re-aparecimento e redistribuição de doenças mais antigas como a malária e a tuberculose (Goalan & Saksena 1998 *apud* Kochtcheeva & Singh 2000).

A Epidemiologia Paisagística, uma das áreas da Epidemiologia, parte da premissa de que, se conhecendo as exigências ambientais dos transmissores e reservatórios de doenças, é possível prever riscos epidemiológicos através do conhecimento das variáveis ambientais, o que pode auxiliar a tomada de medidas profiláticas ou de controle da enfermidade. A Leishmaniose Tegumentar Americana (LTA) é uma das enfermidades cuja relação com a paisagem permite seu estudo na Epidemiologia Paisagística.

A LTA é uma zoonose que necessita tanto de vertebrados como de invertebrados (mosquitos vetores), para completar seu ciclo de vida. A emergência de uma doença deste tipo pode ocorrer através de mudanças na distribuição, no número de indivíduos das populações, ou no ambiente dos mosquitos transmissores e dos reservatórios. A vulnerabilidade dos mosquitos a alterações climáticas como temperatura, umidade, precipitação e vento por exemplo, enaltecem a importância de se simular cenários para analisar as relações ambientais envolvidas nos ciclos de vida desses transmissores e reservatórios. O aparecimento da doença dá-se geralmente em áreas florestais recentes ou antigas, sendo vista em áreas de derrubadas de matas, áreas rurais ou em bairros periféricos de cidades onde existiam matas primitivas e que hoje são circundados por matas terciárias, capoeiras ou mesmo plantações diversas (Neves 1985).

Aspectos teóricos da Epidemiologia Paisagística e da LTA são abordados neste Capítulo, e foi realizada uma revisão bibliográfica de estudos que relacionaram a paisagem à incidência da LTA.

I.2 – Epidemiologia Paisagística ou Ambiental

I.2.1 – Conceitos básicos sobre Epidemiologia

A *Epidemiologia* é uma extensa área do conhecimento que trata da distribuição e dos determinantes dos estados ou dos acontecimentos relacionados com a saúde de populações específicas, e a aplicação deste estudo no controle dos problemas sanitários.

Algumas doenças podem ser de origem genética, mas com muito maior frequência elas se originam de interações entre fatores genéticos e ambientais, sendo este definido em seu sentido mais amplo, que inclui qualquer fator biológico, químico, físico, psicológico ou de outro tipo que possa afetar a saúde. Portanto o comportamento e o modo de vida têm uma grande importância neste contexto e um dos caminhos da epidemiologia é o estudo das influências destes fatores e as possibilidades de intervenção preventiva (Beaglehole *et al.* 1994). Dentro das doenças transmissíveis, o principal ramo da epidemiologia é aquele que se dispõe ao esclarecimento das etapas do processo de infecção para que posteriormente se possam tomar medidas de controle adequadas, sendo possível muitas vezes controlar uma enfermidade apenas com um conhecimento parcial de sua cadeia de infecção específica.

É importante esclarecer aqui alguns termos de Epidemiologia que serão utilizados neste trabalho. Uma doença é chamada de *endêmica* quando ocorre em uma região geográfica específica ou em uma população, com taxas de prevalência e incidência relativamente altas em comparação com as que se observam em outras regiões ou populações. Quando determinadas condições do meio ambiente ou do próprio hospede se modificam, uma doença endêmica pode evoluir para *epidêmica*. A epidemia se configura como um grande número de casos inesperados que surgem em uma comunidade ou região, em um dado momento. Um *reservatório* é o *habitat* natural de um agente infeccioso, e pode ser o homem, os animais ou outras fontes ambientais. O *vetor ou transmissor biológico*, é definido como sendo o animal que proporciona um local adequado para que um agente infeccioso cresça e se multiplique em condições naturais, desenvolvendo todas as etapas do ciclo evolutivo da espécie. A transmissão das doenças pode ser *direta* ou *indireta*, sendo que na primeira a propagação do agente infeccioso se dá através do ambiente ou outra pessoa, e na segunda é necessário o auxílio de um veículo, como um vetor ou o ar, que carregue o agente infeccioso. A

hanseníase e a própria LTA são exemplos de enfermidades cuja transmissão é *direta* e *indireta*, respectivamente. Conforme o grau de resistência ou imunidade do hóspede, natural ou induzida por vacinas, é que se dá a evolução da doença, que sofre a influência de fatores como a higiene geral, a temperatura, a contaminação atmosférica e a qualidade da água, por exemplo (Beaglehole *et al.* 1994). Os casos de uma doença são *autóctones* quando são oriundos do local onde se encontram.

I.2.2 – A Epidemiologia Paisagística

Metzger (1999) faz uma revisão bibliográfica, onde a paisagem é definida como “uma unidade heterogênea, composta por um complexo de unidades interativas (em geral, ecossistemas, unidades de vegetação ou de uso e ocupação das terras), cuja estrutura pode ser definida pela área, forma e disposição espacial destas unidades.”

Segundo Aragão (1988), a Epidemiologia Paisagística é considerada como uma criação da Escola do parasitologista russo Pavlovsky (1965) que diz que, ao se conhecer os vetores e os hospedeiros que ocorrem em cada tipo de paisagem, pode-se prever que doenças se esperam que nela ocorra. Também no glossário de parasitologia de Schmid & Roberts 1981 (*apud* Aragão 1988) ela vem definida como o “enfoque da epidemiologia que utiliza todos os aspectos ecológicos dos *focos* onde, pelo conhecimento de algumas condições físicas o epidemiologista pode prever onde se pode esperar o aparecimento de uma doença”.

A teoria que envolve a Epidemiologia Paisagística é a de que, pelo conhecimento da vegetação e da geomorfologia, necessárias para a manutenção de espécies de patógenos na natureza, pode-se usar a paisagem para se identificar a distribuição espacial e temporal do risco de enfermidades. Os elementos ambientais que colaboram com ela, incluem elevação, temperatura, precipitação de chuvas, e umidade, e influenciam a presença, o desenvolvimento, a atividade e a longevidade de patógenos, vetores, reservatórios zoonóticos de infecções, e suas interações com seres humanos (<http://geo.arc.nasa.gov/esdstaff/health/landepi.html>).

Muitos estudos têm sido feitos, no Brasil e no mundo, utilizando a teoria da Epidemiologia Paisagística para diversas análises e com diferentes enfermidades. A possibilidade de se combinar as variáveis ambientais com os locais de incidência das

doenças trazida pelos avanços tecnológicos (Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto) vêm modificando a Epidemiologia Paisagística nas últimas décadas.

A seguir, será apresentada uma explanação sobre a enfermidade objeto desta Dissertação que é a Leishmaniose Tegumentar Americana ou LTA.

I.3 - Leishmaniose Tegumentar Americana

I.3.1 – *As Leishmanioses*

A LTA ou Leishmaniose Mucocutânea, Úlcera de Bauru, dentre outras denominações, está entre as seis doenças infecto-parasitárias de maior importância no mundo, sendo a segunda mais importante causada por protozoários, superada apenas pela malária (Mayrink 1990). Em suas diferentes formas de manifestação, esta enfermidade flagela atualmente cerca de 12 milhões de pessoas em 88 países, a cada ano cerca de 400 mil pessoas a contraem (Organização Mundial de Saúde, OMS, <http://www.who.int/emc/diseases>). Um dos países mais atingidos é o Brasil, aonde sua importância vem aumentando: entre 1984-1989 tornou-se crescente e progressivo o número de doentes da variante Tegumentar no país, cujo pico máximo se deu no ano de 1987 (Gomes 1992), motivo que torna relevante novas pesquisas para profilaxia e combate à doença. Restringindo-nos ao estado de São Paulo, o número de casos da LTA vem aumentando progressivamente: entre 1979-1983 foram registrados 619 casos, chegando a 727 entre 1986-1988 e 716 entre 1989-1992 (Tolezano 1994), conforme mostra a figura abaixo:

Figura I-1: Ilustração da evolução da incidência de casos (em números absolutos) de 1979 a 1992, no estado de São Paulo.(Fonte: Tolezano 1994)

As leishmanioses são doenças parasíticas infecciosas e não contagiosas, com transmissão indireta. Os agentes etiológicos são protozoários intracelulares do gênero *Leishmania spp.*, da família Trypanosomatidae, que se apresentam sob duas formas principais que se refletem nos sintomas clínicos: **(a)** a Leishmaniose Visceral (no Brasil, cujo protozoário – *Leishmania chagasi* – é transmitido pelo flebotomíneo *L. longipalpis*) e **(b)** a Leishmaniose Tegumentar Americana (neste caso o protozoário pode pertencer a diferentes espécies e pode ser transmitido por diversas espécies de flebotomíneos). O nome genérico do protozoário, *Leishmania spp.*, vem do bacteriologista que o identificou em 1903: W. B. Leishman (Mayrink 1990).

A Leishmaniose Visceral (LV) se manifesta nos órgãos internos dos indivíduos parasitados, e se caracteriza por febre diária, anorexia, fraqueza, perda de peso, aumento do volume abdominal, tosse seca e persistente, diarreia, anemia e fenômenos hemorrágicos. Como nem todos estes sintomas aparecem simultaneamente e muitas outras condições podem levar à manifestação dos mesmos sintomas, o diagnóstico nem sempre é oportuno. Seu período de incubação é de 2 a 5 meses, sendo a caracterização mais grave das leishmanioses que, se não tratada a tempo, pode levar à morte. Os reservatórios são geralmente a raposa, o cachorro do mato e o cão doméstico. O cachorro doméstico tem sido considerado como o principal reservatório animal da *L. chagasi* em ambientes domésticos e, como companhia constante dos humanos nas áreas endêmicas da doença, ele contribui para a dispersão da doença em movimentos migratórios das populações. A transmissão, em regiões brasileiras, se dá pela picada do flebotomíneo *Lu. longipalpis* infectado com o *Leishmania chagasi*. Tanto a

epidemiologia da doença como sua relação com a paisagem são distintas da LTA, e não serão tratadas neste estudo.

A Leishmaniose Tegumentar Americana (LTA), por sua vez, se manifesta num primeiro estágio em áreas cutâneas, e num segundo estágio em áreas mucosas do corpo que nos casos mais graves podem resultar em severas deformidades faciais. A doença humana se caracteriza por úlcera cutânea, única ou múltipla (Leishmaniose Cutânea - LC), e sua principal complicação é quando atinge as mucosas da nasofaringe com destruição destes tecidos (Leishmaniose Mucosa - LM), em casos onde o diagnóstico e o tratamento são tardios. O ciclo de vida dos protozoários causadores da LTA inclui um hospedeiro e um reservatório: o primeiro é um inseto da subfamília *Phlebotominae*, freqüentemente pertencente ao gênero *Lutzomyia spp.*, e o segundo é representado por roedores, edentados, primatas, marsupiais ou canídeos.

1.3.2 - Ciclos de transmissão e aspectos epidemiológicos da Leishmaniose Tegumentar Americana

No continente americano as espécies envolvidas na infecção por LTA são, na sua maioria, diferentes das do resto do mundo. Por isso a doença neste caso tem o nome específico de Leishmaniose Tegumentar *Americana*. A LTA apresenta uma cadeia de transmissão complexa, podendo ser influenciada numa mesma região, por desequilíbrios ecológicos produzidos pela invasão do homem aos nichos naturais da doença, variações sazonais e susceptibilidade da população (Dourado *et al.* 1989). No caso do estado de São Paulo, a expansão das fronteiras agrícolas não ocorreu sem que houvesse grandes desmatamentos, onde os lavradores têm mantido muitas vezes contato direto com a própria mata.

O protozoário *Leishmania* pertence à família Trypanosomatidae, cujo ciclo de vida envolve uma forma flagelada (promastigota) e outra aflagelada (amastigota), sendo a primeira encontrada no tubo digestivo do inseto vetor e a segunda nos tecidos dos reservatórios vertebrados. Os organismos vetores são insetos da família *Phlebotominae*, na qual o principal gênero transmissor é *Lutzomyia spp.*.

Na figura a seguir está ilustrado esquematicamente o ciclo de transmissão da doença. Nesta figura o animal vertebrado indica o reservatório. As formas de contágio do protozoário são as promastigotas, que se diferenciam em amastigotas dentro de

células da corrente sanguínea do reservatório. Essas formas se multiplicam ainda na corrente sanguínea do animal vertebrado. O mosquito vetor, ao sugar o sangue do animal infectado, adquire as formas amastigotas. No intestino do mosquito ocorre então a replicação destes amastigotas e sua diferenciação em promastigotas, que se dá na região abdominal do vetor. O vetor contaminado pode transmitir então estes promastigotas aos reservatórios e eventualmente ao homem.

Fig. I - 2: Ciclo de vida da leishmaniose (Fonte: Prof. Almério de Castro Gomes 1999).

São muitas as espécies de *Leishmania* responsáveis pela LTA. Conforme variam os diferentes sub-gêneros e espécies de *Leishmania*, variam os reservatórios, as espécies de flebotomíneos vetores, e as formas clínico-epidemiológicas. No Brasil os diferentes sub-gêneros são *Leishmania mexicana amazonensis* ou *L. amazonensis*, encontrada principalmente na região Amazônica, Bahia, Minas Gerais e Goiás; *L. braziliensis guyanensis* ou *L. (Viannia) guyanensis*, aparentemente limitada ao norte da Bacia Amazônica; *L. (Viannia) braziliensis*, cuja distribuição é ampla, indo do sul do Pará ao Nordeste, atingindo o centro-sul do país e algumas áreas da Amazônia Oriental. São Paulo se encontra entre as regiões atingidas com maior frequência por esta última

espécie de *Leishmania*, que tende a ocorrer em áreas de colonização antiga, onde o ambiente se encontra profundamente modificado.

Durante o processo de colonização das regiões Sul e Sudeste do Brasil, nas décadas de 30 e 40, a transmissão esteve associada aos vetores *Lu. Whitmani*, *Lu. Pessoai* e *Lu. Migonei*, cujos comportamentos eram silvestres. Hoje, no entanto, a incidência da doença nas regiões endêmicas de São Paulo encontra-se com maior frequência relacionada à presença de *Lu. intermedia*. Geralmente o *Lu. intermedia* é encontrado dentro do domicílio e nos abrigos de animais domésticos nas áreas endêmicas, e mostra uma grande adaptação a ambientes artificiais, principalmente quando estão próximos a áreas com cobertura vegetal (*efeito marginal*) (FNS, 1992).

Os organismos vetores da LTA são sensíveis a condições climáticas, principalmente temperatura e umidade. Os flebotomíneos se alimentam de seiva vegetal durante o dia, permanecendo em locais sombreados e úmidos, propícios para a criação dos ovos, que são depositados e se desenvolvem no chão em um período de cerca de 2 semanas. No entanto, é durante a noite que as fêmeas, hematofágicas, saem em busca de fontes sanguíneas, dieta necessária a ovoposição. As formas imaturas dos flebotomíneos se desenvolvem em locais ricos em matéria orgânica em decomposição, representados de maneira geral pelo solo, ao que se dá o nome de *criadouros*. De modo geral, sabe-se que os flebotomíneos preferem áreas planas como criadouros, a áreas de relevo mais acidentado, onde estariam sujeitos a serem arrastados com as chuvas (Galati 1994, *apud* Miranda *et al.* 1996). Eles possuem dois tipos de vôo: um deles é feito a custa de uma série de movimentos saltitantes sobre a superfície de pouso e o outro é um tipo de vôo continuado, vencendo distâncias mais longas (Forattini 1973).

A postura de ovos pela fêmea se dá em qualquer superfície úmida e em temperaturas que variam entre 20 e 30°C. O desenvolvimento embrionário requer algum tempo, que varia de acordo com diversos fatores, principalmente a temperatura. O valor máximo de desenvolvimento dos ovos se dá entre 25 e 27°C, sendo que em baixas temperaturas os ovos não eclodem, enquanto não voltem ao calor. Sob condições ótimas a incubação se dá em 1 semana ou pouco mais, e tem sido observado que o processo de eclosão se dá durante a noite, em laboratório. Os ovos são dotados de baixa capacidade

de resistência à dessecação, e necessitam de elevado teor de umidade (cerca de 80%) para se desenvolverem normalmente. As larvas também não resistem à dessecação, bem como sucumbem se submetidas por período variável à umidade ao nível de saturação. Os níveis ótimos de temperatura para o desenvolvimento larval variam conforme a espécie do *flebotomíneo*, mas os limites dessas faixas podem ser fixados como sendo de 25 a 30°C. A escassez ou a ausência de iluminação constitui fator favorável para o desenvolvimento das larvas, sendo nociva à luminosidade intensa, especialmente a de origem solar com seus raios caloríferos. Também à noite ocorre a pupação, preferencialmente. As pupas são mais resistentes às variações do teor de umidade do que os ovos e as larvas, mas não são resistentes quando se trata de temperatura, que também tem influência marcante no tempo pupal, à semelhança do que ocorre com o período de incubação dos ovos (Forattini 1973).

Estes fatores ambientais vêm aliados a outros que contribuem para determinar a distribuição da doença. Entre estes se deve mencionar as atividades humanas que podem contribuir para a redução ou aumento da incidência da doença, seja diretamente reduzindo as populações de vetores por pulverização de inseticidas por exemplo, ou indiretamente introduzindo práticas culturais desfavoráveis para o vetor.

A LTA é uma doença primariamente silvestre, zoonótica (sem a participação do homem no ciclo de vida) de ambientes florestais, tendo principalmente roedores como reservatórios nestas áreas. Atualmente, o perfil de transmissão tem se modificado, e a enfermidade passou a ser considerada antroponozoonótica (Gomes 1992). Segundo o Guia de Controle da LTA da Fundação Nacional de Saúde (1992), a enfermidade apresenta atualmente no Brasil dois padrões epidemiológicos característicos. O primeiro é um padrão de surtos epidêmicos associados à derrubada das matas para a construção de estradas e em povoados de regiões pioneiras, onde a transmissão pode ocorrer quando o homem entra em contato com os focos zoonóticos. O segundo padrão ocorre em regiões antigas, não associadas à derrubada das matas, onde cães, eqüinos e roedores parecem ter papel importante como reservatórios do parasito. Atualmente, portanto, a enfermidade é considerada como antroponozoonótica (Gomes 1992) – com a participação do homem – e tem ocorrido em trabalhadores rurais, que mantêm contato com remanescentes florestais ao derrubar a vegetação existente para substituí-la por plantações agrícolas, ou colonos que se instalam próximo aos remanescentes. Alguns *flebotomíneos* possuem a capacidade de se adaptar ao ambiente domiciliar humano.

Com a destruição de seu *habitat* natural (as matas), esses dípteros procuram e podem encontrar nos domicílios humanos e nos abrigos dos animais domésticos, locais para repouso e subsequente ovoposição (Forattini 1973). Nos locais onde se considera a domesticação dos vetores, o cachorro pode servir como reservatório doméstico do parasito.

Segundo Gomes *et al.* (1990), nas Américas o tipo de transmissão das leishmanioses tegumentar predominante ainda está relacionado à presença de matas. Locais como o Vale do Ribeira mostram, no entanto, um padrão diferente, onde focos de *Leishmania braziliensis s. l.* têm sobrevivido sob condições alteradas do ambiente florestal e extra-florestal e onde as condições de transmissão local estão relacionadas ao ambiente extra-florestal (Gomes A.C, *et al.* 1986). A domesticação de vetores nesta área foi mencionada em muitos outros trabalhos: Gomes *et al.* (1983); Gomes (1986); Gomes *et al.* (1986); Gomes & Galati (1987), Gomes & Galati (1989); Gomes (1992); Gomes (1994); Lainson *et al.* (1994); Tolezano (1994); Corte (1996).

A importância da relação *casa-proximidade da mata* para a incidência da doença é observada em diversos trabalhos, como Miranda *et al.* (1996), Dourado *et al.* (1989) e Corte (1996), que serão comentados mais adiante. Segundo Forattini (1973), os flebotomíneos alados no Sul do Brasil e no Peru se dispersam de 200 a 500m, tendo sido registrado um máximo de 1500m na Rússia – capacidade atribuída principalmente a espécimes famintos. O fato de terem os flebotomíneos pequena capacidade de dispersão não impede seu contato com os homens, que têm o hábito de construir suas habitações próximo a matas. Desse modo, nota-se que aumenta a probabilidade de haver a transmissão do parasita para humanos conforme aumenta a proximidade das habitações humanas aos *habitats* do mosquito.

Situações endemo-epidêmicas da LTA vêm se manifestando no transcurso da devastação da cobertura florestal primitiva em extensa faixa do Planalto Paulista, segundo o itinerário dos colonizadores (Pessoa & Barreto 1944 *apud* Gomes A.C., *et al.* 1989). Após a primeira fase de incidência no começo do século, a manifestação da doença sofreu um declínio progressivo, até tornar-se quase nula, justificando-se o fato pela perda da infecciosidade da floresta em função do desmatamento, como Gomes *et al.* (1989) citam em seu trabalho. Para os autores, o fato de a doença persistir nos dias atuais mostra a necessidade de novos estudos para que se possam esclarecer os fatores envolvidos neste quadro epidemiológico mais recente.

I.3.3 – *Diagnósticos, Tratamentos, Controle e Profilaxia da LTA*

O período de incubação da doença em humanos é de aproximadamente 2 meses, podendo apresentar um período mais curto (2 semanas) ou mais longo (2 anos) (FNS, 1992). As lesões cutâneas se caracterizam comumente pela forma ulcerada franca, com bordas elevadas, fundo granuloso, e geralmente são indolores, dentre outras formas de lesões. As lesões mucosas provocam queixas de obstrução, eliminação de crostras nasais e epistaxes (sangramento nasal) que podem, em alguns casos, destruir parcial ou totalmente a pirâmide nasal, e atingir os lábios, palato, orofaringe e laringe, causando disфонia ou mesmo afonia (FNS, 1992).

O diagnóstico laboratorial baseia-se na confirmação da presença do parasito e em provas imunológicas. Para confirmar a presença do parasito é necessária a extração de uma amostra de tecido, que será analisada por procedimentos laboratoriais diversos. As provas imunológicas podem ser feitas através da Reação de Montenegro ou da Imunofluorescência Indireta (IFI) e/ou testes imunoenzimáticos (ELISA). A Reação de Montenegro consiste de uma simples reação alérgica obtida pela inoculação por via intradérmica de uma suspensão de leptomonas, às quais foi juntado fenol para sua esterilização; quando a induração resultante for igual ou superior a 5 milímetros, a reação é considerada positiva (presença da LTA). A IFI e os testes imunoenzimáticos expressam os níveis de anticorpos circulantes e são úteis em casos de lesões extensas e múltiplas e no diagnóstico precoce das lesões mucosas secundárias ou primárias.

Para o tratamento da enfermidade utiliza-se primariamente o antimonial pentavelente-antimoniato de N-metil-glucamina, ou Glucantime, variando-se a dose conforme a forma de manifestação da doença. A droga de segunda escolha é a Anfotericina-B ou Fungizon, e por último a Pentamidina (FNS, 1992).

A profilaxia deve ser realizada integrando-se diferentes medidas, como aplicação de inseticida em situações de transmissão peri e domiciliar e em áreas rurais onde haja população exposta; medidas de proteção individual; controle das populações de reservatórios; medidas educativas e administrativas; sistema de informação otimizado; distribuição de insumos; e, finalmente, vacinação (FNS, 1992). Em áreas florestais, seria impraticável a primeira medida (aplicação de inseticida). Proteção

individual com mosquiteiros, telas em portas e janelas, repelentes e roupas apropriadas nem sempre são economicamente viáveis. A vacinação por sua vez, encontra-se ainda em fase de testes. As alternativas dependem, portanto, de ações políticas e de conscientização a nível populacional. Este trabalho procura fornecer um novo caminho para possíveis medidas profiláticas. Isto será feito a partir da indicação das possíveis Zonas de Risco de Contato entre os mosquitos transmissores e o homem, e de fatores ambientais que possam estar interferindo na incidência da doença.

I.3.4 – Exemplos de estudos sobre a LTA que levaram em consideração a paisagem circundante

No Brasil e no exterior são muitos os trabalhos que relacionam a incidência da LTA à paisagem, e alguns se encontram revisados a seguir, em ordem cronológica. Faz-se necessário observar que alguns trabalhos são relacionados à incidência da LT Americana, e outros são do Velho Mundo, onde a feição da Leishmaniose Tegumentar é diferente, incluindo os agentes etiológicos e os vetores, cuja epidemiologia é bem diferente da que ocorre na América.

Gomes *et al.* (1989), relacionam o papel vetorial do flebotomíneo em área endêmica da LTA correspondente a região centro-nordeste do estado de São Paulo pela análise da fauna antropofílica de quatro matas residuais, onde se atentou para questões como presença de mata ciliar e pastagem, atividade agrícola, luminosidade do solo, hipsometria, e distância das matas preservadas às habitações humanas. Dentro das conclusões, pode-se citar que: *Lu. whitmani* e *Lu. pessoai* foram afetadas pela devastação já ocorrida na região, deixando de tomar parte importante na transmissão da LTA para o homem. Além disso, conclui-se que a devastação não levou à extinção da doença e que as matas ciliares ou galerias situadas à margem dos grandes rios favorecem o desenvolvimento de *Lu. intermedia* em nível de dominância.

Dourado *et al.* (1989) estudaram a associação entre a infecção leishmaniótica e a ocupação dos indivíduos no município de Lençóis – Bahia, cujo método de trabalho incluiu a análise de variáveis biológicas, sociais e econômicas. Os autores acertem que a transmissão na área é tanto domiciliar como peri-domiciliar e silvestre, apontando o grupo ocupacional de lavradores e garimpeiros – que se concentram as áreas

residenciais periféricas e têm maior contato com a mata por ser seu ambiente de trabalho – como o grupo mais exposto a LTA na área de estudos.

Mbarki *et al.* (1995) trabalharam com fatores ambientais e ecológicos, como a presença de certos biótopos favoráveis aos hospedeiros roedores. Além destes, analisaram o desenvolvimento dos reservatórios de água e projetos agrícolas que contribuíram para aumentar as densidades populacionais dos vetores. Todos estes fatores foram apontados como condicionadores da distribuição geográfica das localidades onde há Leishmaniose Cutânea e da propagação da epidemia, na Tunísia.

Em Campinas, no estado de São Paulo, Corte *et al.* (1996) descreveram um surto de LTA ocorrido nas áreas rural, peri-urbana e urbana, onde se associa o surgimento dos casos à expansão urbana ocorrida nas décadas de 70-80 e acelerada mais recentemente. Para tanto, eles trabalharam com dados relativos ao histórico de ocupação das áreas, que envolve desmatamento e preservação de pequenas áreas circunscritas de matas residuais, ciliares e resultantes de reflorestamento. Em um dos locais eles observaram que as moradias distavam 500 metros de uma mata residual, um outro que distava 300 m e um terceiro que distava apenas de 100 m. Entre suas conclusões está a de que a ocorrência da LTA nos locais de estudo parece estar relacionada ao processo de ocupação, que promove a fragmentação de matas. Neste estudo, a análise dos dados indicou a possibilidade de a transmissão estar ocorrendo no ambiente domiciliar e peridomiciliar. Suas conclusões sugerem ainda que a lenta ocupação da área levou a uma provável adaptação dos vetores ao domicílio, com uma tendência para o aumento da infecção em ambiente extra-florestal, envolvendo possivelmente animais domésticos.

No Sudeste Asiático, Cross *et al.* (1996), trabalharam com dados climáticos, como temperatura e umidade, e de imagem Índice de Vegetação (IVDN) obtida por Sensoriamento Remoto Orbital (vide capítulo II), que foram sobrepostos à informações de coletas de vetores em diferentes pontos da área de estudo. Os autores concluíram que o maior risco de leishmaniose ocorre durante os meses de primavera e verão e encontraram um intervalo de índice de vegetação onde os flebotomíneos transmissores são encontrados com maior frequência.

Miranda *et al.* (1996) apresentaram um estudo onde foi realizada a visualização das áreas de vegetação localizadas a 250 metros das localidades onde houve casos de LTA. Foi observado um padrão paisagístico onde as casas se localizavam a menos que 250 metros de um fragmento de mata. Os autores afirmam a necessidade da utilização

de investigações criativas para novas estratégias de controle do vetor da LTA para áreas extensas.

Alcais *et al.* (1997) calcularam os fatores de risco para a Leishmaniose Cutânea e Mucocutânea em uma região da Bolívia, e mencionam que alguns estudos mostraram que há uma prevalência da Leishmaniose Cutânea em locais onde fatores comportamentais levam a contatos freqüentes com o *habitat* dos mosquitos infectados. Para os cálculos, os autores trabalharam com fatores ambientais, dentre outros, que estariam influenciando o risco de contrair a doença. A exemplo de outras áreas onde atualmente há incidência de LTA, esta região sofreu um processo de desmatamento e crescimento agrícola, e uma das co-variáveis do estudo foi a distância casa-remanescente florestal, que os autores demonstraram ser significativa como fator de risco.

Taylor (1997) faz uma revisão dos trabalhos que relacionaram as alterações em florestas naturais ao aumento na incidência de doenças. Ele cita o desmatamento da Amazônia Peruana, assegurando que o fator de risco mais significativo para o aparecimento da Leishmaniose é a exposição dos moradores às áreas desmatadas.

Neves (1999), em sua dissertação de mestrado apresentada na FSP – USP, caracteriza as áreas de transmissão da LTA no estado de SP segundo parâmetros vetoriais, ambientais e climáticos, constatando que as influências significativas na incidência da doença foram o tipo de relevo e os tipos de cobertura vegetal. Em relação às espécies de flebotomíneos transmissores, ela constatou que *Lutzomyia intermedia* foi a espécie vetora predominante em todos os tipos de ambiente, e que *L. migonei* esteve significativamente mais associada à incidência de LTA que *L. pessoai* e *L. fischeri*. Dos 136 municípios onde houve transmissão da LTA, em 89,7% foi verificada a presença de *Lu. intermedia*; em 57,4% a *Lu. whitmani*; em 55,9% a *Lu. fischeri*; em 51,5% a *Lu. migonei*; e em 30,2% a *Lu. pessoai*.

Hassan *et al.* (1999) analisaram no Egito a transmissão da Leishmaniose Tegumentar, em relação a fatores hidrogeológicos e pedológicos (de tipos de solo). Eles afirmam, com base numa análise de agrupamentos de mapas temáticos, que os locais de alto risco estão associados aos *habitats* naturais (não alterados) e caracterizados por solos entre dunas areno-argilosos, ocorrendo sobre aquíferos localmente produtivos.

Costa (2001), realizou um estudo com LTA em Itapira-São Paulo, levando em consideração fatores ambientais como proximidade da mata, altitude e inclinação,

dentre outros. A presença de matas se mostrou importante para o aparecimento da doença em alguns dos locais estudados. Em outros se considerou a possibilidade de domesticação dos mosquitos vetores.

Um endereço virtual de importância é o da Organização Mundial de Saúde, onde podem ser encontradas informações sobre diversas enfermidades: <http://www.who.int/>, desde ciclo de vida dos vetores até dados de incidência em nível mundial.

CAPÍTULO II – SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, SENSORIAMENTO REMOTO E PAISAGEM: INTEGRANDO CONHECIMENTOS PARA ANÁLISES EPIDEMIOLÓGICAS.

II.1- Introdução

Os estudos na Epidemiologia Paisagística estão baseados na distribuição espacial de fatores ambientais relacionados às enfermidades. Embora esta abordagem da Saúde Pública não seja recente, ela vem se tornando mais popular graças à introdução de novas tecnologias, como o Geoprocessamento e o Sensoriamento Remoto, que auxiliam no levantamento e quantificação desses elementos de paisagem. Há hoje diversos exemplos de trabalhos no mundo que já se utilizam destas ferramentas para auxiliar no entendimento da influência da paisagem sobre a incidência de várias enfermidades. Os exemplos da aplicação em malária são os mais comuns, sendo que para a Leishmaniose Tegumentar Americana ainda são bastante escassos.

O Geoprocessamento consiste num conjunto de tecnologias de coleta, tratamento, manipulação e apresentação de informações espaciais georeferenciadas, no qual há a utilização de diferentes sistemas: de digitalização, de conversão de dados, de modelagem digital do terreno, de processamento de imagens, e os de informação geográfica ou SIG. Os *Sistemas de Informação Geográfica* (SIG) processam dados gráficos e não-gráficos (alfanuméricos), separados ou combinados, com ênfase a análises espaciais e modelagens de superfícies (<http://www.inpe.br> 1998). Um SIG é um conjunto de programas de computador através do qual dados digitais georreferenciados podem ser armazenados, integrados, analisados e ilustrados, de modo a auxiliar na tomada de decisão.

Mais do que nunca, na história da humanidade, a origem das doenças pode ser espacialmente referenciada e localizada em mapas. Podemos utilizar as várias técnicas de Geoprocessamento para identificar a localização geográfica da incidência de qualquer doença conhecida e, no decorrer do tempo, seguir seu movimento, bem como mudanças em sua incidência e prevalência. Assim, ele pode ser considerado como uma ferramenta utilizável por profissionais no campo de Saúde Pública, cujos benefícios

envolvem vigilância, modelagem de risco, análise, profilaxia e controle de doenças humanas (Croner & Broome 1996).

O Sensoriamento Remoto (SR) pode ser utilizado para extrair algumas informações e se valer de outras informações, geradas por geoprocessamento, para simular, em ambiente computacional, os parâmetros ambientais de interesse. Desde 1972, quando do lançamento do satélite Landsat-1, o Sensoriamento Remoto passou a ser utilizado para diversas finalidades. Mudanças espaciais e temporais nas condições ambientais podem ser fatores importantes para a incidência de doenças transmitidas por vetores. O imageamento por satélites permite identificar essas mudanças e pode ajudar a prever áreas e períodos de alta transmissão. As imagens de satélite podem ser usadas para cobrir grandes áreas cujo acesso é difícil, e para monitorar mudanças na distribuição de fontes naturais e variações climáticas (Connor *et al.* 1995). Somente nas duas últimas décadas é que as imagens se tornaram realmente úteis para a Epidemiologia Paisagística graças aos avanços da tecnologia do geoprocessamento, que deu a estas imagens o tratamento cartográfico, antes ausente. Mesmo assim, segundo Beck *et al.* (2000), estas metodologias ainda não são de uso comum na área da Saúde Pública e apenas um pequeno número de investigadores tem utilizado o Sensoriamento Remoto para explorar fatores ambientais que possam estar associados a *habitats* dos vetores de doenças e ao risco de transmissão humana.

A seguir procuramos esclarecer o mecanismo, utilidade e aplicação destas ferramentas no contexto das análises epidemiológicas.

II.2– Fundamentos do Geoprocessamento

Os diferentes sistemas do Geoprocessamento requerem equipamentos e programas diferentes. Estão incluídos dentre os equipamentos, além de um computador capaz de suportar o manuseio das informações, um GPS (*Global Position System*), uma mesa digitalizadora para a transferência dos dados cartográficos para o formato digital e uma impressora capaz de reproduzir os resultados, entre outros. O GPS é utilizado para registrar a posição geográfica de pontos de interesse. O conjunto de programas de computador é desenvolvido de modo a receber os dados fornecidos pelo usuário, armazená-los, manuseá-los e transformá-los, além de possibilitar sua apresentação em um modo compreensível para o usuário que os interpretará.

Os dados geográficos descrevem objetos do mundo real em termos: **(a)** de sua posição com respeito a um sistema de coordenadas conhecido, **(b)** seus atributos que estão relacionados à posição (como cor, custo, *pH*, incidência de doenças, dentre outros) e **(c)** suas inter-relações espaciais (Burrough 1986). Para que os dados possam ser utilizados, eles precisam estar *georreferenciados* em relação a um sistema de coordenadas. Georreferenciamento é a propriedade de atribuir aos dados alguma localização ou posição geográfica no espaço da Terra. O Sistema de Coordenadas pode ser baseado numa projeção cilíndrica ou cônica, sendo que a mais utilizada é a cilíndrica para escalas mais locais. A projeção mais aceita internacionalmente é o Sistema de Coordenadas Transversais Universal de Mercator (UTM – *Universal Transverse Mercator*) (Burrough 1986). Nesse sistema as coordenadas são planas (**x** e **y**), que medem em metros o leste e o norte a partir de duas linhas de referência, perpendiculares.

Os principais produtos do Geoprocessamento são em forma de mapas. Mapas são representações aproximadas de aspectos da superfície terrestre ou a coleção de dados sobre a distribuição espacial de propriedades significantes da superfície da terra. Através dos séculos, a construção dos mapas foi se tornando cada vez mais elaborada e acessível, e foi neste século que os mapas se tornaram ferramenta indispensável para muitas das análises realizadas com a superfície terrestre. A necessidade por dados e análises espaciais tem sido manifestada por grupos sociais que vão desde os geógrafos, passando por planejadores urbanos, agências cadastrais, engenheiros civis, departamentos de polícia, organizações médicas, interesses comerciais, até infra-estruturas ou utilidades gerais (como água, gás, eletricidade, linhas de telefone) – todos necessitam ser registrados e manipulados na forma de mapas (Burrough 1986). O mapeamento sistemático do Brasil é feito na projeção UTM, nas escalas 1:250 000, 1:100 000 e 1:50 000.

O geoprocessamento possibilita a confecção de mapas para diferentes finalidades, através do manuseio de informações nos formatos vetorial e/ou matricial. O formato vetorial armazena dados geográficos como pontos, linhas e áreas como uma série de coordenadas e identificadores de cada dado, um tipo de arranjo onde os dados podem ser descritos sob a forma de duas coordenadas geográficas. O formato matricial é aquele onde o armazenamento da informação geográfica está na estrutura de matriz, onde as células com valores são chamadas de *pixels*. Atualmente existe a possibilidade

da conversão de um formato para o outro, conforme a necessidade do usuário. Os dois tipos de formato podem, juntos ou separados, gerar novas informações através de transformações algébricas simples e sobreposição dos dados de base. As novas informações podem estar em formato de texto, vetor ou matricial. Quando ocorre este último caso, o produto é chamado de *mapa temático*.

Mapa temático é o termo utilizado para se referir a mapas construídos para uma proposta específica, que contém informações sobre um tema de interesse, que pode ser qualitativo (como no caso de classes de uso do solo) ou quantitativo (como no caso do Modelo de Elevação Digital). A combinação destes mapas temáticos é feita dentro do ambiente de SIG.

Dentre as várias formas de obtenção de informações sobre a superfície da terra podemos encontrar a tecnologia do Sensoriamento Remoto, de que se cuidará a seguir.

II.3- O Sensoriamento Remoto e a propriedade de compreender a distância

Lillesand & Kiefer 1994, definem o Sensoriamento Remoto (SR) como a ciência e a arte de obter informação sobre um objeto, área ou fenômeno através da análise de dados adquiridos por um equipamento que não está em contato com o objeto, área, ou fenômeno sob investigação. A obtenção da informação baseia-se somente na interação de radiação eletromagnética com o respectivo objeto, e esta radiação pode ser de fonte natural (Sol e Terra) ou artificial (radar, por exemplo).

Rosa (1995) resume a história do Sensoriamento Remoto no mundo. Em linhas gerais, desde 1859, com a descoberta do processo fotográfico, o SR começou a ser utilizado, mas timidamente. A utilização desta ciência para fins militares ocorreu largamente durante a Primeira e a Segunda Guerra Mundial no planejamento de missões, através da utilização de fotografias aéreas. Em 1972 entrou em órbita o primeiro satélite para recursos naturais, com finalidade civil, promovendo a partir de então a obtenção de dados de alvos terrestres de modo confiável, rápido e repetitivo. Desde então inúmeros sistemas sensores foram desenvolvidos e aperfeiçoados e passaram a gerar uma quantidade enorme de informação utilizável para diferentes fins. No Brasil o SR foi impulsionado pelo projeto RADAMBRASIL, da década de 60, cujo objetivo era realizar um levantamento integrado dos recursos naturais do país, utilizando imagens de radar. Hoje o SR é utilizado em muitas instituições do país,

auxiliando na obtenção de dados de caráter geológico, pedológico, hidrológico, agrícola, ecológico e epidemiológico, entre muitos outros.

A seguir serão explicados os fundamentos do Sensoriamento Remoto e as técnicas envolvidas na utilização desta ciência, limitando-se aos sistemas orbitais.

II.3.1: *Comportamento Espectral de alvos*

A interação do fluxo da radiação eletromagnética com os elementos terrestres representa o comportamento espectral dos alvos (Lillesand & Kiefer 1994). Cada objeto do terreno interage diferentemente com cada faixa espectral. Os átomos no estado fundamental, ao serem incididos por radiação eletromagnética, passam a ter elétrons excitados que absorvem a energia incidente e posteriormente a devolvem ao meio ambiente, completa ou parcialmente, dependendo do material em questão e da faixa espectral. A absorção de energia é caracterizada por uma diminuição relativa na porcentagem de reflectância em certas faixas de comprimentos de onda no espectro eletromagnético (Rosa 1995).

Será dada atenção especial ao comportamento espectral da vegetação, que foi amplamente utilizado neste trabalho. As faixas espectrais mais utilizadas em análise de vegetação são as do Vermelho, Infra-Vermelho Próximo e Médio, e a resposta da vegetação a cada faixa citada varia conforme explicado a seguir:

Faixa 3 -Vermelho (0,63 – 0,69 μm): Nesta região é possível quantificar a vegetação pela propriedade que a clorofila tem de absorver radiação nesta faixa do espectro eletromagnético. Neste caso, quanto mais clorofila tiver a vegetação em estudo, mais luz ela absorve e, portanto, menos reflete. Sendo assim, as áreas de solo exposto e urbanização refletem mais, colaborando também para identificação de aspectos culturais.

Faixa 4 -IV Próximo (0,76 – 0,90 μm): Esta faixa é útil para determinar fitomassa foliar verde e para localizar corpos d'água. No que tange à vegetação, quanto mais densa mais alta é a Reflectância, como se pode observar na Figura II-1.

Faixa 5 -IV médio (1,55 – 1,75): Esta faixa é indicativa do conteúdo de água. Para análises de vegetação, quanto mais água tiver a vegetação, mais ela absorve, e portanto, menos reflete.

O comportamento espectral dos alvos terrestres pode ser representado em gráficos onde são dados valores de reflectância por comprimento de onda, para cada alvo. A Figura II-2 (abaixo) ilustra esquematicamente quais aspectos da vegetação são destacados em cada comprimento de onda.

Fig. II-1: Comportamento espectral da vegetação (Extraído de: Rosa 1995).

A Figura II-2, a seguir, mostra o comportamento espectral da vegetação, segundo a quantidade de biomassa verde e cobertura do dossel. Observe que os valores de reflectância se alteram conforme se altera a quantidade de biomassa e cobertura do dossel, e à medida que muda a faixa espectral. Observe também que para a maior biomassa, a reflectância é máxima na faixa do IV Próximo, e muito baixa na faixa do Vermelho, por exemplo. Este é o motivo pelo qual estas duas faixas são as escolhidas para a construção de imagens Índice de Vegetação, entre elas as de Diferença Normalizada (IVDN).

Figura II-2: Reflectância espectral típica para vegetação, solo e água (Adaptado de: Elachi, C. 1987).

II.3.2 - *Aquisição e análise de dados de Sensoriamento Remoto Orbital*

As informações obtidas da superfície terrestre são armazenadas em imagens obtidas pelos satélites, permitindo sua quantificação. Há dois processos básicos envolvidos na utilização do Sensoriamento Remoto Orbital, que são: A - Aquisição de dados e a B - Análise e utilização de dados (Rosa 1995), as quais explicaremos a seguir.

A – A aquisição de dados de SR

O modo como as feições da superfície terrestre refletem e emitem a energia eletromagnética pode ser registrado por sensores específicos. O fluxo de radiação eletromagnética pode interagir com tais feições, sendo por elas refletido, absorvido e/ou transmitido. A intensidade de cada processo dependerá das propriedades físico-químicas dos elementos irradiados, e o fluxo resultante se constitui em valiosa fonte de informações a respeito das feições com que interagiu.

Os satélites são dotados de sistemas sensores, que são dispositivos capazes de responder à radiação eletromagnética em determinada faixa do espectro

eletromagnético, registrá-la e gerar um produto numa forma adequada para ser interpretada pelo usuário – e seu limite de operação é apenas tecnológico. Já existem sistemas operando tanto no espectro óptico como no não-óptico. Para os sistemas que operam dentro do espectro óptico, pode haver sensores atuando desde 0,3 até 14 μm , em faixas espectrais que vão desde os comprimentos de onda do Ultra-violeta, Visível e Infra-vermelhos próximo, médio e termal.

O que o satélite registra é a Radiância total, que é igual à Radiância do alvo somada à Radiância na trajetória. A Radiância, sem interferência atmosférica é igual à Reflectância vezes a irradiância (energia proveniente da fonte) dividida por π (caracteriza metade da esfera terrestre):

$$R = \frac{\rho E}{\pi} + B$$

onde R é a Radiância, E é a irradiância na superfície, ρ é a reflectância e B é a radiância dos meios. A unidade de medida é $\text{W/m}^2 \text{ Sr}$ (abertura do *ângulo sólido*).

Por sua vez, a *Reflectância* é a propriedade física inerente ao alvo. Na imagem de satélite, o Número Digital é proporcional à Radiância, podendo ser convertido em Reflectância quando isto for necessário, por exemplo em análises temporais, onde os efeitos atmosféricos são distintos.

Os elementos do processo de sensoriamento remoto são: as fontes de energia, a propagação da energia pela atmosfera, as interações da energia com feições da superfície da terra, a retransmissão da energia pela atmosfera, os sensores espaciais ou em plataforma, e a resultante na geração dos dados do sensor em forma pictorial e/ou digital (Lillesand & Kieffer 1994).

Há quatro tipos de resolução a se considerar quando se trabalha com Sensoriamento Remoto (Moreira 2001):

1) **Resolução espacial:** mede a menor separação angular ou linear entre dois objetos, sendo portanto a maior separação possível detectável pelo sensor. No solo ela pode ser definida como sendo a menor área do terreno que um sistema sensor é capaz de individualizar. O sensor *Thematic Mapper* da série de satélites Landsat tem uma resolução espacial de 30×30 metros no solo em todas as faixas menos na Termal (TM-6, com 120 metros).

2) **Resolução espectral:** é uma medida da largura das faixas espectrais do sistema sensor, o que se configura numa melhor ou pior caracterização dos alvos em

função da largura da faixa. Por exemplo, um sensor que opera na faixa de 0,4 a 0,45 μm tem uma resolução espectral menor do que o sensor que opera na faixa de 0,4 a 0,5 μm . Quanto mais fina for a largura de faixa que opera um determinado sensor, melhor é sua resolução espectral, pois o sensor captará dados mais específicos da cena imageada. O sensor TM-Landsat tem uma boa resolução espectral nas faixas do visível e dos Infravermelhos Próximo e Médio.

3) **Resolução radiométrica:** está associada à sensibilidade do sistema sensor em distinguir níveis de intensidade do sinal de retorno. Ela reflete a capacidade do sensor de discriminar, numa área imageada, alvos com pequenas diferenças de radiação refletida e/ou emitida. Esses valores de intensidade são representados em números digitais, proporcionais à energia registrada, cuja quantidade depende do sistema de gravação do sensor. Por exemplo, se os sinais são gravados em 2 bits a resolução radiométrica será de 4 níveis digitais. Para calcular a resolução radiométrica usa-se a expressão 2^n , onde “n” é o número de bits utilizado. Quanto maior este número de bits, maior a resolução radiométrica. O sensor TM-Landsat têm resolução radiométrica de 256 níveis digitais (8 bits), com exceção do Termal (6 bits).

4) **Resolução temporal:** no caso dos sistemas orbitais, esta resolução indica o intervalo de tempo que o satélite leva para voltar a recobrir a área de interesse, o que depende da largura de faixa imageada no solo. O sensor TM do Landsat-5 tem uma resolução temporal de 16 dias.

Os sistemas sensores registram a interação do fluxo de radiação eletromagnética com os alvos terrestres. Existem vários sistemas em órbita no momento, cada um premiando um aspecto distinto. Para escolher o melhor sistema é preciso conhecer as vantagens e desvantagens de cada um. Há sistemas com resolução espectral de 1 até 23 faixas espectrais. A resolução no terreno também pode variar, indo de 1 metro até um quilômetro, e a resolução temporal pode variar de 12 horas (NOAA) a 26 dias (SPOT).

Neste trabalho utilizaremos o produto dos sensores *Thematic Mapper* e *Enhanced Thematic Mapper* dos satélites Landsat 5 e 7, respectivamente, classificados como Sensores Passivos (que não possuem fonte própria de radiação) e imageadores. Ambos tem as Faixas do **1-Azul** (0,45 - 0,52 μm), do **2-Verde** (0,52 - 0,60 μm), do **3-Vermelho** (0,63 - 0,69 μm), do **4-Infra-Vermelho (IV) Próximo** (0,76 - 0,90 μm), **5-IV Médio** (1,55 - 1,75 μm), **6-Termal** (10,4 - 12,5 μm) e **4-IV Médio** (2,08 - 2,35 μm). As Faixas **6** e **7**

estão fora da sequência de comprimentos de onda porque a Faixa 7 foi adicionada ao TM após o processo desenvolvido para o sistema original. As diferenças entre os sensores TM-5 e ETM-7 estão nas resoluções espaciais, que são de 30 metros para todas as Faixas com exceção da Termal que é de 120 metros de resolução espacial no Landsat 5, e 60 metros de resolução no Landsat 7. Além disso o Landsat 7 tem um sensor que fornece ajuste de contraste, e uma nova Faixa (Faixa 8), chamada de *Pan-Cromática*, que opera na faixa de 0,50 – 0,90 μm , com uma resolução espacial de 15 metros.

Os satélites geram uma imagem em cada faixa espectral, de acordo com suas resoluções espacial, espectral, radiométrica e temporal. Cada imagem é composta por uma matriz, com linhas e colunas, onde cada célula ou *pixel* contém um valor, denominado de Número Digital (ND), que representa a Reflectância Média na área do solo que está sendo imageada. Nos satélites Landsat TM 5 e 7, o ND varia de 0 a 255 e indica o valor da Reflectância Média obtida numa área do solo de $30 \times 30 \text{ m}$, ou seja, com uma resolução espacial de 30 m.:

B – A Análise e a utilização de dados de SRO

A análise e a utilização dos dados de SRO passa necessariamente pela interpretação das respostas espectrais dos alvos. Com o auxílio de dados de referência, gerados com um GPS (*Global Position System*), mapas e dados de verdade terrestre, o analista pode extrair informações sobre o tipo, extensão, localização de vários alvos da superfície da Terra. Esta informação é então manipulada, com o auxílio de computadores e programas apropriados, produzindo mapas temáticos diversos. Os Números Digitais (NDs) podem ser convertidos na Radiância de cada pixel, e esta pode ser convertida em Reflectância, que é a propriedade inerente ao alvo. Conhecendo o comportamento espectral dos alvos, as imagens podem ser manipuladas de acordo com os interesses do usuário, gerando mapas, vetores ou tabela de dados.

Uma técnica de visualização muito utilizada é a Composição Colorida. Ela é gerada com a combinação das Faixas 3, 4 e 5, e permite ao usuário destacar as feições de interesse segundo um método visual de comparação com a verdade terrestre, ou podem ser feitas classificações supervisionadas (com a ajuda do usuário) ou não-supervisionadas (automáticas, do tipo *Cluster*), que permitem a classificação destas feições. O processo é simples: às Faixas 3, 4 e 5, às quais se determina uma das cores de

base (vermelho, verde ou azul), segundo os interesses do usuário. Por exemplo, a Faixa 3 atua numa faixa espectral que é mais sensível à presença de solo exposto do que à vegetação, e com a Faixa 5 ocorre o inverso. Pode-se então utilizar uma Composição Colorida onde as Faixas 3, 4 e 5 seriam representadas respectivamente pelas cores Vermelho, Azul e Verde, de modo que as áreas urbanizadas seriam vistas em Vermelho e as Áreas de Vegetação em Verde.

Além deste método há inúmeras outras maneiras de se extrair informações de imagens de satélite de modo a gerar mapas temáticos. Uma delas são os Índices de Vegetação, que consistem em uma álgebra com imagens de entrada, gerando uma nova imagem com índices proporcionais a fitomassa foliar verde em lugar dos NDs (vide capítulo III). Uma outra maneira é a Análise por Componentes Principais (ACP), que será explicada no capítulo IV.

II.4 – O uso de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto na Epidemiologia: uma nova abordagem da paisagem

Atualmente cerca de metade da população da Terra vive em regiões tropicais ou temperadas, onde pode haver o risco de uma ou mais doenças transmitidas por vetores, e que podem ser relacionadas à paisagem. A necessidade de se prevenir e controlar a incidência destas doenças está levando os pesquisadores a buscar novas tecnologias que possam auxiliá-los nesta tarefa. Uma delas é o Sensoriamento Remoto, cujo número de satélites civis que operam pelos Estados Unidos, França, Japão, Rússia, Índia, Agência Espacial Européia, Brasil e China, é suficiente para prover uma cobertura regular sobre grande parte da superfície terrestre (Washino & Wood 1994).

As análises espaciais permitem aos usuários analisar e exibir dados diversos de um modo otimizado. Assim, o conhecimento de que o tipo e a distribuição da vegetação podem influenciar as populações de vetores transmissores de uma dada doença; e pode ser utilizado para prever a distribuição e abundância dos mesmos (Beck *et al.* 1994). Desse modo, ao se estabelecer quais as condições paisagísticas propícias para o estabelecimento dos vetores da doença, tanto o Geoprocessamento como o Sensoriamento Remoto podem ajudar a quantificar espacialmente os fatores que influenciam a presença, o desenvolvimento, a atividade e a longevidade de patógenos, vetores, reservatórios zoonóticos de infecções, e suas interações com seres humanos

(Meade *et al.* 1988). Para tanto, basta que estas informações sejam colocadas em mapas com o mesmo sistema de referência.

Neste contexto, os dados armazenados em um ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG) podem ser utilizados para quantificar relações espaciais entre fatores de risco e distribuição do vetor ou da doença (Kitron *et al.* 1994). Por sua vez, Sensoriamento Remoto tem contribuído com a qualificação de alguns dos parâmetros da paisagem para compor o banco de dados a ser analisado em SIG, realizando-se assim análises espaciais rápidas, eficientes e de baixo custo.

Há muitos exemplos de enfermidades cujas relações com a paisagem permitem o uso destas técnicas. O exemplo mais conhecido é a malária, que é transmitida por mosquitos anofelinos que se reproduzem em coleções hídricas e sob condições ambientais específicas. A Leishmaniose Tegumentar tem também alguns relatos de análises espaciais, pois seu vetor transmissor está relacionado à presença de matas, que podem ser quantificadas por Sensoriamento Remoto Orbital. Balbus (1988) faz um estudo sobre a alteração de fatores ambientais e a participação destes na incidência de doenças humanas, mencionando a importante aplicação do Geoprocessamento na Epidemiologia destas doenças. Também Nuttal *et al.* (1995) mostram como é possível otimizar a tomada de decisão através do uso de SIG, dentro dos programas de controle de doenças em Botswana, Senegal e Marrocos. Segundo os autores, esta medida pode facilitar o monitoramento e administração das fontes naturais, da agricultura, e do planejamento rural e urbano.

Procuramos a seguir evidenciar a inter-relação entre estas ciências, citando como exemplo inúmeros trabalhos realizados no mundo e no Brasil. Iniciamos com um histórico da Epidemiologia Paisagística, e sua evolução ao longo dos séculos até encontrar as tecnologias dos Sistemas de Informação Geográfica e do Sensoriamento Remoto.

II.4.1 - De Hipócrates à NASA: a evolução da Epidemiologia Paisagística com a utilização de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto

Aragão (1988) aponta Hipócrates como o primeiro a utilizar-se da Epidemiologia Paisagística, diante de seu tratado “Ares, Águas e Lugares”, onde se preocupava com a situação das cidades em relação ao sol, aos ventos e a qualidade das

águas, e se a região tinha o solo desnudo ou arborizado, entre muitas outras observações de caráter ambiental, que relacionava com a saúde das populações. No entanto, é no século XIX que surge a primeira aplicação prática das teorias da Epidemiologia Paisagística, num dos primeiros estudos que mostraram a importância da dinâmica espacial no entendimento da incidência de doenças. O estudo, realizado por John Snow, médico, ocorreu em Londres, 1854, quando uma grave epidemia de cólera se abateu sobre a cidade. Na época se desconhecia a forma de contaminação, que hoje se sabe estar relacionada à ingestão de água contaminada. Foi o doutor John Snow, proeminente epidemiologista e anestesiológico da época, quem teve a inspiração de colocar no mapa da cidade a localização dos doentes de cólera e dos poços de água (principal fonte de água dos habitantes naquela época). Ele notou uma concentração de casos em torno do poço da “Broad Street”, que foi lacrado, o que contribuiu em muito para debelar a epidemia (<http://www.ph.ucla.edu/epi/snow.html>).

Segundo Washino & Wood (1994), data de 1949 o uso de fotografia aérea e técnicas de interpretação manual para identificar e mapear *habitats* de vetores de doenças. Nesta ocasião, J.R. Audy publicou um estudo sobre febre tifóide na Ásia e concluiu que os *foci* daquela doença estavam associados a um tipo de vegetação local. Além de estudos com produtos aerofotogramétricos, novas pesquisas puderam ser desenvolvidas com o lançamento do primeiro satélite para uso civil, que ocorreu na década de 70, pesquisas estas citadas no trabalho de Mucci (2000).

A Epidemiologia Paisagística vem adotando as metodologias de Geoprocessamento e SR há pouco mais de uma década. Através delas é possível analisar as variáveis envolvidas na transmissão de doenças dependentes do meio ambiente sem que o pesquisador necessite estar presente. No passado, os métodos para analisar dados de doenças que poderiam ter relações com o ambiente dependiam de medidas indiretas ou aproximadas de observação, enquanto hoje, com estas novas ferramentas, estes dados podem ser trazidos para um computador e serem analisadas e integradas com outras informações pertinentes (Croner & Broome 1996).

Na década de 90, com o desenvolvimento dos Sistemas de Informação Geográfica, começaram a aparecer muitos estudos que procuravam relacionar espacialmente elementos da paisagem, transmissores e/ou reservatórios, com a presença humana. Como o Sensoriamento Remoto possibilita a identificação e a quantificação de vários parâmetros ambientais, desde que estejam no formato de imagens

georreferenciadas, surgiram várias tentativas de modelar os riscos de contato entre os seres humanos e os agentes participativos do ciclo de doenças. As técnicas de geoprocessamento, por sua vez, possibilitam a simulação de ambientes, ampliando assim o espectro de análise espacial.

Alguns centros de importância mundial tem dado atenção especial a este *casamento* entre Epidemiologia Paisagística e técnicas de Geoprocessamento e SR. Este é o caso da NASA (*National Aeronautics & Space Administration*), nos Estados Unidos, onde foi criado um centro especializado em Epidemiologia Paisagística e as técnicas citadas: é o *Center for Health Applications of Aerospace Related Technologies* (CHAART), cujo endereço virtual é <http://geo.arc.nasa.gov/sge/health/chaart.html>. Pesquisas têm sido realizadas com diversas enfermidades no mundo todo, o que mostra a importância deste novo tipo de abordagem na área da saúde.

II.4.2 - Exemplos da aplicação de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto à Epidemiologia Paisagística de doenças transmitidas por vetores

Muitos trabalhos tem sido publicados com o intuito de revisar o uso destas ferramentas nas análises espaciais de diferentes enfermidades. Exemplos disso são Aragão (1988), Hugh-Jones (1989), Verhasselt (1993), Washino & Wood (1994), Connor *et al.* (1995), Nuttal *et al.* (1995), Barcellos & Bastos (1996), Clarke *et al.* (1996), Croner & Broome (1996), Beck *et al.* (2000).

A malária é, dentre as doenças causadas por protozoários, a de maior incidência no mundo, e estima-se que 2,1 bilhões de pessoas estejam sob o risco de infecção da doença (<http://www.who.int/home-page/>). Muitos estudos no mundo e no Brasil têm utilizado Geoprocessamento e SR para elucidar tanto aspectos relacionados à transmissão da doença como para fins prognósticos. Para tanto, um elemento essencial é o reconhecimento da variabilidade do ambiente e dos parâmetros epidemiológicos que influenciam os modelos das populações dos vetores de malária e o risco de transmissão da doença. Por exemplo, durante seu estágio larval o vetor da malária requer um ambiente aquático frequentemente descrito em termos de vegetação e água, que podem ser monitorados por SR (Washino & Wood 1994). Na África o SR é considerado como a ferramenta principal para os esforços de controlar a malária no país (Thomson *et al.* 1997).

Beck *et al.* (1994) utilizaram SR e SIG para discriminar entre localidades com alto ou baixo risco de transmissão de malária. O estudo foi feito a partir de dados de coleta indicando a abundância do vetor *Anopheles*, e de elementos da paisagem relacionados ao mosquito. Estes dados foram investigados por uma análise estatística que permitiu estabelecer sua inter-relação para fins de localização de áreas de risco.

O SIG foi utilizado para compor um sistema de vigilância computadorizado nacional em Israel, por Kitron *et al.* (1994). Os autores calcularam as distâncias entre núcleos populacionais e criadouros dos mosquitos transmissores. Foram então gerados mapas associando dados epidemiológicos e entomológicos.

Mucci (2000) utilizou SIG e SR para estimar o risco de transmissão de malária em uma área do reservatório de Porto Primavera, no estado de São Paulo. Foram produzidos mapas que simularam as áreas de inundação, indicando os criadouros, os abrigos e fontes hematofágicas em potencial, com os quais foi possível estimar as áreas de risco de contato entre o homem e o vetor de malária na região.

Outras enfermidades têm sido abordadas com uma visão espacial, e com o uso de SR e SIG. A diarreia na África e a doença de Lyme nos Estados Unidos são alguns exemplos. Njemanze *et al.* (1999) utilizaram métodos estatísticos de análise e SIG para calcular o impacto das fontes de água na saúde da população. Kitron & Kazmierczak (1997) analisaram a distribuição espacial da doença de Lyme em Wisconsin, com o auxílio de dados de SR. Neste estudo o SIG foi utilizado para fornecer mapas de distribuição dos casos humanos da doença, distribuição dos carrapatos transmissores da doença, e mapas do grau de cobertura da vegetação, levando à conclusão de que a distribuição dos casos humanos por município estava significativamente correlacionada com a distribuição do carrapato, estando ambos correlacionados com altos valores de Índice de Vegetação com Diferença Normalizada (IVDN) na primavera e no outono. Dister *et al.* (1997) também realizaram um estudo com uma análise espacial da doença de Lyme em Nova York, usando imagens de satélite e SIG, com os quais quantificaram e relacionaram espacialmente as variáveis da paisagem obtidas por SR.

Miranda *et al.* (1996), em sua tese de mestrado, faz uma análise da ocorrência de LTA utilizando Sensoriamento Remoto Orbital (SRO). Em seu trabalho, ela utilizou uma imagem orbital do satélite Landsat-TM para a apresentação dos locais onde ocorreu LTA. A partir do foco foi feita uma expansão com 250 m, dentro das quais foram delimitadas as áreas de vegetação nas proximidades de cada foco. O resultado foi

uma visualização da distribuição dos locais de ocorrência da enfermidade e das matas com provável relação com a transmissão da LTA na área de estudo.

Cross *et al.* (1996) utilizaram dados de satélites do tipo AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) para determinar os níveis de IVDN em estações meteorológicas relacionadas à presença de Leishmaniose Cutânea no Golfo Pérsico, no período de 1982 a 1994. Eles cruzaram os dados de IVDN e a temperatura e umidade, com informações de coletas de mosquitos em diferentes pontos da área de estudo, e durante as estações do ano, para elucidar as áreas de risco de Leishmaniose Cutânea. Os autores concluíram que o maior risco de leishmaniose ocorre durante os meses de primavera e verão e encontraram uma faixa de IVDN compatível com o mosquito transmissor da na região, o *Phlebotomus papatasi*, que coincidia com os pontos de vegetação mais densa. Os resultados obtidos são bastante úteis na medida em que se pôde definir uma faixa específica de IVDN para a ocorrência do vetor naquela região.

Mbarki *et al.* (1995) descrevem como monitoraram a Leishmaniose Cutânea na Tunísia, onde o mosquito vetor é o *Phlebotomus papatasi*, e onde o SIG nunca havia sido aplicado a problemas de saúde. Eles utilizaram fotografias aéreas que mostravam a localização precisa das habitações humanas. O SIG permitiu o mapeamento da distribuição espacial da doença num período de 10 anos e permitiu também relacionar esta distribuição à cobertura vegetal necessária à presença dos reservatórios do *Phlebotomus papatasi*. Como resultado foi possível estimar a distribuição da enfermidade e sua prevalência através dos anos.

Hassan *et al.* (1999) mapearam parâmetros ecológicos do vetor da Leishmaniose Cutânea, como a composição de espécies de mosquitos, abundância e taxa de infecção, e variáveis ambientais relacionadas com a doença, como tipos de solo, geologia e hidrologia, utilizando para tanto processamentos em SIG. As funções do SIG foram utilizadas para identificar indicadores ambientais dos *foci* de alto risco, que foram apontados como os *habitats* naturais e caracterizados por solos entre dunas do tipo areno-argilosos que ocorrem em aquíferos localmente produtivos.

Costa (2001) utilizou SR e SIG para estudar a incidência da LTA em Itapira, São Paulo, construindo mapas temáticos de distância, altitude, inclinação, e vegetação. Quando comparados com dados de coleta de mosquitos, foi possível estabelecer que tem havido um possível processo de domesticação em alguns locais, em face destes

estarem localizados fora do alcance de vôo do mosquito, e de existirem corredores de vegetação entre um fragmento de mata e a casa onde se verificou a enfermidade.

CAPÍTULO III – APLICAÇÃO DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL PARA A ANÁLISE PAISAGÍSTICA DA LEISHMANIOSE TEGUMENTAR AMERICANA.

III.1 – Introdução

Nos estudos das enfermidades que afligem os seres humanos, tem sido cada vez mais comum a abordagem ambiental oferecida pela Epidemiologia Paisagística, associada à utilização de Geoprocessamento e de Sensoriamento Remoto (SR). Neste capítulo ilustramos um exemplo de como unir todas estas teorias e técnicas para estudar a incidência da Leishmaniose Tegumentar Americana no município de Itapira - São Paulo.

A Leishmaniose Tegumentar Americana (LTA) é considerada atualmente como uma enfermidade antroponozoonótica (Gomes 1992), de transmissão indireta, relacionada à presença de matas, ocorrendo em trabalhadores rurais que mantêm contato com remanescentes florestais ou em colonos que habitam nas proximidades destes remanescentes. Tanto na escala regional como na local, os modelos espaciais e temporais das distribuições das populações de *flebotomíneos* são influenciados pela umidade, temperatura, luminosidade e elevação (Foratini 1973). Ao analisar a vegetação está-se analisando indiretamente todos estes fatores. As áreas mais abertas das matas apresentam temperaturas do ar mais altas, maior grau de insolação, maior velocidade do vento e menor umidade do ar e do solo, quando comparadas com as áreas de interior (Costa 2001). O grande benefício do uso de Sensoriamento Remoto neste caso é que ele permite ao usuário mapear essas matas, e extrapolar medidas de uma escala local para uma escala regional, permitindo também discernir entre modelos espaciais e temporais, que de outro modo poderiam não ser perceptíveis (Washino & Wood 1994). A confecção de mapas temáticos referentes aos aspectos ambientais relacionados à doença é propiciada pelas várias técnicas de Geoprocessamento. Estes mapas, por sua vez podem ser cruzados entre si de modo a gerar novas informações sobre a área.

O fato de o *habitat* do mosquito transmissor na área de estudos ser os remanescentes florestais conduziu este estudo no sentido de individualizar os

fragmentos de mata próximos a locais onde houve LTA, e estudar então o ambiente de entorno. Segundo Forattini (1973), o alcance de vôo de um *flebotomíneo* pode variar entre 200 e 500 metros, tendo havido registros de 1500 metros em casos excepcionais. Em Gomes & Galati (1987) trabalhou-se com diferentes tipos e locais de coleta, sendo uma delas em uma distância da mata de cerca de 350 m. O fato de os resultados deste estudo terem mostrado uma resposta de coleta apenas no interior da mata, sendo que a partir da margem este número foi bem reduzido, confirma o fato de que os flebotomíneos são insetos com pouca capacidade dispersiva. A importância da relação casa-proximidade da mata para a incidência da doença no Brasil é observada em diversos trabalhos, como Miranda *et al.* (1996), Dourado *et al.* (1989), Gomes *et al.* (1989), Corte *et al.* (1996), e Costa (2001), citados anteriormente.

Neste capítulo procuramos determinar as Zonas de Risco de Contato entre o vetor da doença e o homem, referente aos casos ocorridos em Itapira-SP, bem como buscar possíveis relações dessas Zonas com os fatores ambientais *altitude*, e *densidade de vegetação*.

III.2 – Local e Metodologia de Estudo

III.2.1 – *Local de estudo*

A área escolhida para a realização do trabalho foi o município de Itapira, no estado de São Paulo, Brasil (Figura III-1). O município de Itapira está incluído na Regional Administrativa de Campinas (Regional 5) da SUCEN que é a região paulista com maior aumento no coeficiente de incidência e na distribuição da doença, especialmente ao longo do rio Mogi-Guaçu, que atravessa o município (Tolezano 1994).

Itapira localiza-se na região Sudeste do estado de São Paulo, tendo por municípios limítrofes as cidades de Mogi Mirim, Mogi Guaçu, Espírito Santo do Pinhal, Águas de Lindóia, Serra Negra, Amparo, Santo Antonio da Posse, Lindóia e Jacutinga (MG). É atravessada pelos Rios do Peixe e Mogi-Guaçu. A população total do município é de 63.691 pessoas, sendo 58.360 na zona urbana e 5.331 na zona rural, segundo o Censo 2000 do IBGE, distribuídas na área total de 517,5 km². A zona rural é

pouco povoada, não havendo pontos de alta densidade populacional, com exceção da área urbana, que ocupa uma área relativamente pequena. O clima da região é o Tropical de altitude (CWa), segundo a classificação de Köpen. Os tipos de cultura agrícolas encontrados nas fazendas da área rural vão desde culturas de subsistência, até culturas para fins comerciais. Estas são plantações de feijão, eucalipto, algodão, arroz, milho, laranja, cana de açúcar e café.

Em São Paulo os agentes etiológicos da LTA que têm sido identificados, pertencem à espécie *Leishmania braziliensis braziliensis* (Gomes & Galati 1989). Mesmo com a alteração do perfil da doença em locais como o Vale do Ribeira, Gomes (Prof. Almério C. Gomes, 1999 – comunicação verbal) coloca como sendo mais provável que esteja ocorrendo o perfil de transmissão primário da doença, onde as matas são fontes permanentes de flebotomíneos. Nesta dissertação está-se considerando portanto as matas como habitat e fonte permanente de flebotomíneos.

Gomes *et al.* (1989) realizaram coletas de flebotomíneos em 4 localidades de uma das áreas endêmicas da LTA na região centro-nordeste do estado de São Paulo. Uma dessas localidades situa-se no município de Mogi-Guaçu, vizinho a Itapira, e apresentou uma frequência quase que absoluta de *Lutzomyia intermedia* Lutz e Neiva, 1912 nas capturas. Demonstrou-se a posição de destaque de *Lu.whitmani* Antunes e Coutinho, 1939 e *Lu. pessoai* Coutinho e Barreto, 1940 em floresta virgem, e de *Lu. intermedia* em ambiente alterado. Rangel & Vido (1997) coletaram em maior porcentagem *Lu. intermedia* e *Lu.whitmani* na região de São João da Boa Vista-SP, vizinha à Itapira. Em estudo mais recente, Costa (2001) obteve como resultado de coleta no município de Itapira, maiores frequências de *Lu. intermedia* e *Lu.whitmani*. Considera-se portanto, para esta dissertação, que os transmissores mais prováveis na área são *Lu. intermedia* e *Lu. whitmani*. Forattini (1973) observou que para *Lu. intermedia* os criadouros se localizam possivelmente em ambientes florestais, mas a espécie tem forte tendência para invadir o ambiente das habitações humanas. Além de ser encontrada em florestas virgens, a espécie também foi observada em regiões modificadas pelo homem, como matas de segunda formação e capoeiras. Por sua vez, *Lu. whitmani* é essencialmente silvestre, tendo nas florestas virgens o seu ambiente natural (Forattini 1973). Gomes & Neves (1998) mencionam que *Lu. intermedia* tem ampla distribuição no estado de São Paulo, a despeito da existência ou não de floresta primitiva, na altitude limite de 750 metros acima do nível do mar. Ainda segundo os

autores, é nesta altitude que estão registrados a maioria dos casos humanos da LTA, distribuídos pelos municípios paulistas.

Na Tabela III-1 estão enumerados os locais (número descritivo) onde ocorreu a doença no município, entre os anos de 1992 e 1997. Nos locais visitados, notou-se a presença de um ou mais fragmentos de mata nos limites do quintal da casa onde houve um ou mais portadores da LTA, ou à distância(s) relativamente pequena(s), refletindo instantaneamente um padrão paisagístico característico. As Figuras III-2 (a), (b), (c) e (d), ilustram alguns locais onde se pode notar a presença de fragmentos de mata próximo às casas, o que se configura no fator de risco principal. Nos locais onde foi possível entrevistar os portadores, constatou-se que os mesmos asseguravam não haver freqüentado a mata no período noturno.

Tabela III-1: Localização geográfica dos pontos onde ocorreu a LTA no município de Itapira-SP, entre 1992 e 1997, segundo dados da SUCEN, incluindo o ano de ocorrência e um número descritivo que foi utilizado nas análises referentes aos mapas temáticos.

LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA (EM COORDENADAS UTM) DOS CASOS	ANO DE OCORRÊNCIA	NÚMERO DESCRITIVO
317959 / 7524563	1992	1
318279 / 7514813	1992	27
331376 / 7517001	1993	2
317324 / 7515341	1993	3
306813 / 7512715	1993	4
313868 / 7505148	1993	5
320087 / 7523141	1993	6
329382 / 7516616	1993	7
311141 / 7504231	1993	8
311141 / 7504231	1993	10
310611 / 7503854	1993	11
317324 / 7515341	1994	9
326376 / 7526119	1994	12
309704 / 7519841	1994	13
309704 / 7519841	1994	14
319129 / 7508355	1994	15
316530 / 7533501	1994	16
316538 / 7519140	1995	17
316538 / 7519140	1995	18
320421 / 7522818	1995	19
326875 / 7514034	1995	20
312461 / 7515298	1995	21
324929 / 7529140	1995	22
310758 / 7519591	1996	23
315682 / 7518272	1996	24
320986 / 7516283	1997	25
322879 / 7526256	1997	26
	Total:	27 (casos)

III.2.2 – Metodologia

O estudo da relação LTA-ambiente com a utilização de Geoprocessamento foi aqui apresentado a partir do ponto de vista do *habitat* do mosquito – os remanescentes de mata. Partiu-se da pressuposição de que todos os fragmentos são *habitats* dos flebotomíneos transmissores e dos animais reservatórios da LTA, independentemente de seu tamanho, e que os fragmentos são homogêneos quanto às necessidades de umidade e temperatura para os vetores. Ao se considerar essas pressuposições descarta-se a necessidade de se levar em conta o tamanho dos fragmentos e as possibilidades de domesticação.

Inicialmente foram digitalizadas as estradas, rodovias e as curvas de nível do município, utilizando o programa **TOSCA 2.12**. As estradas e rodovias auxiliaram durante o georreferenciamento das imagens obtidas pelos satélites, enquanto que as curvas de nível foram utilizadas para a confecção do *Modelo de Elevação Digital* do terreno.

Os casos de LTA ocorridos entre 1992 e 1997 foram localizados no campo com o auxílio de um GPS (*Global Position System*). Em cada local foi verificado se haviam remanescentes florestais nas proximidades, e a maioria dos locais pôde ser fotografada. Os dados de localização foram então transferidos para o programa **IDRISI for Windows 2.01**, da Clark University 1997, onde foram sobrepostos a uma imagem em Composição Colorida feita com as Bandas 3-4-5 do Landsat/TM-5, datada de 13 de maio de 1996, e com resolução espacial de 30 metros. Isto foi feito para realizar uma primeira visualização da localização dos fragmentos próximos aos casos. Em dois locais, identificou-se no campo, e na imagem de satélite, a presença de três fragmentos de mata, os quais dirigiram a classificação supervisionada subsequente.

A necessidade de delimitar os fragmentos dirigiu a atenção para a escolha do melhor tipo de classificação, que auxiliasse a reconhecer corretamente e isolar os fragmentos de mata. Após testar classificações do tipo *Cluster* e IVDN, chegou-se a conclusão de que a *Classificação por Máxima Verossimilhança* era a que mais se aproximava dos dados reais obtidos em campo. Após a escolha da classificação, foi encontrado um artigo de Fuller *et al.* (1998), onde os autores procuravam identificar a vegetação – para fins de cálculo de Biodiversidade em uma região da África em uma

imagem do Landsat TM – e que utilizaram o mesmo tipo de classificação. Os detalhes desta classificação seguem no próximo item.

Os fragmentos escolhidos foram aqueles que se localizavam dentro ou no limite de um raio de 1000 metros a partir das casas onde houve LTA. Para aumentar a precisão da classificação, os fragmentos foram delimitados, um a um, através de um processo de digitalização na tela do computador, feita em uma imagem do Landsat ETM-7 faixa Pancromática, de agosto de 1999, cuja resolução espacial é de 15 metros.

Com os limites dos fragmentos em mãos, foi possível delimitar as possíveis *Zonas de Risco de Contato* (ZoRC). Uma análise prévia mostrou que havia casos que distavam mais de 400 metros das bordas de algum fragmento de mata. Para estabelecer quais as distâncias a serem utilizadas, foram observados dados de estudos já realizados neste sentido. Como visto anteriormente, Forattini (1973) menciona que o alcance de vôo de um *flebotomíneo* pode variar entre 200 e 500 metros. Gomes & Galati (1987) realizaram um trabalho de coleta em 350 metros a partir das bordas das matas. Corte *et al.* (1996) obtiveram resultados mencionando a presença de mata a 500 metros de casas onde houve LTA. Em Miranda *et al.* (1996) foi localizada a presença de vegetação arbustiva a 250 metros das casas onde houve LTA no município de Lagoinha-SP. Como não se encontrou estudos sobre limite de vôo das espécies de *Lutzomyia intermedia* e *Lutzomyia whitmani*, foi considerada a hipótese menos conservadora: a de o mosquito voar até 500 metros da borda mata. Ao mesmo tempo, procurou-se estabelecer uma área de risco, não somente a partir de dados do vôo do mosquito, mas também do comportamento humano, onde se considerou que o homem pode andar cerca de 500 metros ao redor da residência, mesmo à noite. As bordas dos fragmentos foram então expandidas em três distâncias diferentes: de 250, 500 e 1000 metros, e nestas foi discutida a possibilidade da influência dos fatores altitude e densidade de vegetação.

Duas explicações relativas aos métodos utilizados para este fim foram aqui detalhadas de modo a facilitar a compreensão do leitor: (A) COMPONDO UM MAPA COM OS REMANESCENTES DE MATA PRÓXIMOS ÀS CASAS ONDE HOUVE LTA e (B) COMBINANDO INFORMAÇÕES OBTIDAS A PARTIR DE DIVERSOS MAPAS TEMÁTICOS. A primeira se refere ao processo de isolamento dos fragmentos de matas próximos às habitações onde houve um ou mais casos de LTA a partir de uma imagem do satélite Landsat/TM 5 e 7; e a segunda é referente às combinações algébricas dos mapas

temáticos relativos aos fragmentos de matas, distâncias das casas onde houve a doença, altitude e densidade de vegetação.

A – COMPONDO UM MAPA COM OS REMANESCENTES DE MATA PRÓXIMOS ÀS CASAS ONDE HOUE LTA

Foram feitas diferentes análises classificatórias, supervisionadas e não supervisionadas, buscando a melhor classificação no tocante à diferenciação entre mata, eucaliptais velhos e laranjais velhos. O caminho que se mostrou mais compatível com os dados da verdade terrestre foi o seguinte:

- 1) Foram digitalizadas (como polígonos) na tela, amostras de matas conhecidas no local de estudo, sobre uma imagem Composição Colorida 3-4-5;
- 2) No *Makesig* (uma das ferramentas do software IDRISI *for* Windows 2.01) foi extraída a assinatura espectral dos polígonos;
- 3) Foi utilizada uma *Classificação por Máxima Verossimilhança* padrão, utilizando as Faixas 3 e 5 (escolhidas pela sensibilidade em relação a áreas urbanas e vegetação, respectivamente), visando localizar as respostas semelhantes por toda a imagem, gerando um mapa com dados apenas de vegetação, como foi feito por Fuller *et al.* (1998). Este tipo de classificação empreende a probabilidade máxima dos dados baseados na informação contida em uma amostra inicial conhecida, e está baseada na função de densidade da probabilidade associada com uma assinatura particular da amostra.
- 4) Foi passado um filtro tipo *Median* 3×3 no mapa gerado, também como Fuller *et al.* (1998) realizaram, produzindo uma nova imagem com possivelmente todos os fragmentos de mata existentes na área;

Os fragmentos de vegetação escolhidos nos raios de 1000 metros a partir das residências, foram analisados para confirmação de seus limites, para evitar confusões com eucaliptais ou tipos de vegetação com assinatura espectral semelhante. Isto foi feito tendo por roteiro a classificação feita por Máxima Verossimilhança e comparando-a com (1) uma imagem em Composição Colorida visualizada no programa **SPRING 5.0** do INPE (cuja visualização dos diferentes tipos de vegetação se mostrou mais clara que a obtida no IDRISI 2.01); (2) a visualização em uma imagem Índice de Vegetação; e finalmente (3) a visualização em uma imagem Pan-Cromática do satélite Landsat/ETM-

7. A rugosidade, o formato e a tonalidade da composição colorida 3-4-5, auxiliaram na distinção entre fragmentos de mata e os outros tipos de vegetação encontradas na área que se confundiam com mata. Procedeu-se então à digitalização, na tela do computador, na imagem Pan-Cromática, dos contornos dos fragmentos. O vetor gerado foi então transformado em uma imagem com resolução espacial de 15 m.

B – COMBINANDO INFORMAÇÕES OBTIDAS A PARTIR DE DIVERSOS MAPAS TEMÁTICOS

Foi feita então a expansão da borda dos fragmentos da imagem produzida na etapa anterior, em distâncias de 250, 500 e 1000 metros a partir de suas bordas, gerando as ZoRCs.

As isolinhas digitalizadas referentes às curvas de nível das cartas topográficas na escala de 1:50000 de Mogi-Guaçu, Águas de Lindóia, Amparo e Socorro, foram a base para a composição do *Modelo de Elevação Digital* (MED), tendo sido editadas e transformadas, no IDRISI, em uma imagem com 15 m de resolução espacial. Este MED foi dividido em classes (por *fatiamento*) de modo a gerar um mapa de altitude ou *hipsométrico*, ilustrando as possíveis classes de altitudes existentes no terreno, dadas em metros. Para podermos identificar as altitudes que compõem o ambiente de entorno dos fragmentos, foram sobrepostos os mapas temáticos com as ZoRC e o mapa hipsométrico.

Foi também realizada uma análise de Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (IVDN), que consiste em:

$$IVDN = \frac{RIVP - RV}{RIVP + RV}$$

onde *R* é Radiância, IVP é Infravermelho Próximo ou TM-4, e *V* é Vermelho ou TM-3.

Como o IVDN pode ser utilizado como um indicativo da *fitomassa* verde, e que quanto mais alto o índice, mais densa é a vegetação, procurou-se uma relação entre os fragmentos e a área vegetada de entorno, somando-se os mapas das possíveis ZoRC com o mapa de IVDN.

III.3 - Resultados

Inicialmente, localizamos os pontos onde houve caso(s) de LTA no município de Itapira, na Composição Colorida 3-4-5 (Figura III-3).

Todo o processo realizado neste trabalho foi resumido em um fluxograma (Figura III-4), que pode servir como um roteiro para o epidemiologista que estiver interessado em estudar a Leishmaniose a partir de um ponto de vista paisagístico, utilizando Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto Orbital, de modo a facilitar o trabalho de campo e todas as análises relacionadas à presença de matas.

A Fig. III-5 mostra a imagem IVDN georreferenciada e classificada. Quanto mais o valor do IVDN se aproxima de 1, mais escuro o verde se torna, e mais densa se torna a vegetação. Os tons em roxo e branco referem-se a áreas muito pouco vegetadas, com IVDN próximo ou menor que zero. Os tons em roxo indicam as áreas urbanas e o branco indica a presença de corpos d'água. As manchas mais homogêneas são silvicultura e as mais heterogêneas são florestas.

A Figura III-6 traz o mapa de fragmentos gerado na classificação supervisionada. Esta classificação foi utilizada para localizar os fragmentos de mata. Observe que nela estão todos os possíveis fragmentos do município como um todo. Foram então digitalizados na tela os limites dos fragmentos de interesse, em uma imagem Pan-Cromática, ilustrada na Fig. III-7. A imagem Pan-Cromática pode ser visualizada apenas em tons de cinza, e nela as matas podem ser visualizadas principalmente pela *rugosidade* ou descontinuidade de tons de cinza de um pixel a outro, que apresenta. A digitalização dos fragmentos gerou a Figura III-8, onde estão todas as matas possivelmente relacionadas à incidência da LTA nos pontos localizados com o GPS.

A Figura III-9 contém um exemplo de delimitação de uma das matas utilizadas como verdade terrestre. A mesma mata pôde ser localizada em uma imagem obtida através da Classificação Supervisionada (Fig. III-9a), em uma imagem IVDN (Fig. III-9b), e em uma imagem Composição Colorida 3-4-5 (Fig. III-9c), possibilitando a delimitação da resultante (Fig. III-9d), obtida através da imagem Pan-Cromática. O mapa gerado na classificação supervisionada serviu de guia para visualizar os fragmentos. A imagem IVDN foi muito útil para diferenciar a vegetação de outros alvos da cena, mas para diferenciar entre tipos de vegetação foi muitas vezes falha,

principalmente para diferenciar mata de eucaliptais. Finalmente, a imagem em Composição Colorida visualizada no SPRING 5.0 do INPE possibilita a diferenciação entre mata e eucaliptais, pela coloração e rugosidade dos alvos e pode ser boa indicadora dos limites das matas.

A partir do mapa de fragmentos (Fig. III-8), foi feita uma expansão de distâncias, a partir da borda de cada fragmento, o que se pode observar na Figura III-10. Esta Figura está representando as possíveis ZoRCs de 250, 500 e 1000 metros.

Com os mapas das ZoRC de 1000, 500 e 250 metros, foram produzidos através da multiplicação de imagens, novos mapas temáticos referentes às áreas de cada classe de altitude e de cada classe de IVDN, o que se pode observar nas Figuras III-11, 12, 13, 14, 15 e 16. Os resultados, em porcentagens de área, estão ilustrados nas Tabelas III-2 (para classes de altitude) e III-3 (para classes de IVDN).

As Tabelas III-2 e III-3 mostram as porcentagens relativas às áreas encontradas em cada ZoRC (de 250, 500 e 1000 metros) em cada classe de Altitude e IVDN, respectivamente. A partir destas tabelas foram feitos os gráficos das Figuras III-17 e III-18, respectivamente.

Tabela III-2: Classes de altitude versus ZoRCs de 1000, 500 e 250 metros, ilustrando as porcentagens relativas às áreas encontradas. Classes: 1:600-650; 2:650-700; 3:700-750; 4:750-800; 5:800-900; 6:900-1200.

Classes \ ZoRC	1000	500	250
1	11,0	9,4	8,3
2	37,6	37,2	36,1
3	26,1	27,2	26,6
4	11,7	12,4	13,5
5	5,4	4,7	5,1
6	8,1	9,1	10,4

Tabela III-3: Classes de IVDN versus ZoRCs de 1000, 500 e 250 metros, ilustrando as porcentagens relativas às áreas encontradas. Classes: 1:-1-0,01 / 2:0,01-0,24 / 3:0,24-0,35 / 4:0,35-0,45 / 5:0,45-0,55 / 6:0,55-0,65 / 7:0,65-1

Classes \ ZoRC	1000	500	250
1	2,4	2,3	2,0
2	8,2	7,6	6,0
3	15,0	13,9	12,5
4	26,2	25,9	25,2
5	27,1	27,8	28,4
6	17,3	18,6	21,4
7	3,8	3,9	4,6

Na Figura III-17 estão representadas as porcentagens da distribuição das áreas referentes às classes de altitude, para cada ZoRC (1000, 500 e 250 metros), observadas na Tabela III-2. Em todas as ZoRCs, as classes mais representativas foram a 2 e a 3 que, somadas indicam que mais que 60% das áreas, se encontram em altitudes que variam de 600 e 750 metros. Lembrando que *Lu. intermedia* está limitada a 750 metros de altitude (Gomes & Neves 1998), foram somadas as três primeiras classes com o intuito de se verificar as porcentagens de áreas em altitudes menores que 750 metros. Esse valor foi maior que 70% em todas as ZoRC analisadas. Houve dois casos no extremo leste do município, em que a mata associada a eles era tão extensa que alcançava altitudes do município maiores que 900 metros. Não se pode afirmar que os mosquitos estejam distribuídos por toda a extensão desta mata. Se excluirmos os dados de altitude referentes às ZoRCs para esta mata específica, teremos que o valor percentual das áreas abaixo de 750 metros subiu para cerca de 80%.

Na Figura III-18 estão representadas as porcentagens da distribuição das áreas referentes às classes de IVDN, para cada ZoRC, observadas na Tabela III-3. As classes 1 e 2 representam ausência ou baixa densidade de vegetação. Da classe 3 até a 7 a densidade de vegetação é crescente, sendo que as classes 5 a 7 representam as matas, eucaliptais e plantações perenes. Somando-se as classes 4, 5, 6 e 7, verificou-se que mais que 50% das áreas de cada ZoRC apresentavam uma área verde muito densa, com IVDN variando de 0,45 a 1.

Foram também calculadas as distâncias das casas onde houve caso(s) de LTA até a borda do fragmento de mata mais próximo. Essas distâncias foram divididas em

classes (em metros): 0-200; 200-300; 300-400; 400-500 e 500-600. Excetuando-se o caso do número descritivo 8, cujo morador trabalhava como vigia a noite exatamente na borda da mata e cuja distância caso-borda da mata consideramos nula, todas as outras distâncias são as referentes às residências dos portadores da doença. Os resultados (em números absolutos de casas em cada distância) estão na Tabela III-4.

Tabela III-4: Porcentagem dos casos LTA segundo a distância à borda do fragmento mais próximo.

Em classes de distância:	Número absoluto de locais em cada classe de distância
0-200	10
200-300	3
300-400	4
400-500	3
500-600	3
Total:	23

Foram então calculadas as porcentagens do número de casas em cada classe de distância estipulada, com a qual se gerou a Figura III-19, com as porcentagens relativas a cada classe de distância. A Figura mostra que aproximadamente 50% das casas onde houve LTA se encontram a uma distância de menos que 200 metros da borda de algum fragmento de mata, estando o restante distribuído equitativamente entre as outras quatro classes de distância.

III.4 - Discussão

O fato de o resultado da análise das porcentagens de área relativa às classes de altitude e de IVDN mostrar o mesmo padrão tanto para as distâncias de 250, quanto de 500 e de 1000 metros, indica que o epidemiologista pode optar por qualquer das três distâncias que obterá resultados semelhantes, em relação a estas variáveis ambientais.

As premissas deste trabalho, já que não se encontrou referências de estudos relacionados a estes fatores, foram de que as matas são homogêneas quanto às condições de umidade e temperatura, sendo os *habitats* dos mosquitos transmissores, e que qualquer tamanho de fragmento de mata seria suficiente para o estabelecimento tanto dos transmissores quanto dos reservatórios da LTA. Além disso, considerou-se que todos os contatos entre homem e vetor se deram à noite, período de alimentação das fêmeas dos *flebotomíneos*. Mesmo assim, houve casos que distavam mais que 250 metros da borda de algum fragmento (Fig. III-19). As hipóteses para explicar estes casos são várias: (1) o enfermo não adquiriu a doença em sua residência, podendo tê-la adquirido à noite nas proximidades de sua casa, em um raio de ação desconhecido, ou na própria mata; (2) há populações de *flebotomíneos* que se adaptaram ao ambiente doméstico, e reservatórios da LTA que transitam entre a mata e a residência; (3) o mosquito, por possuir vôo do tipo saltitante, pode ter ido além de 250 metros, devido talvez a um ambiente propício para tal; e finalmente (4) houve eliminação dos *habitats* de mosquitos relacionados a estes casos, antes de 1996 (data da imagem de satélite utilizada). As duas primeiras hipóteses não foram testadas durante este trabalho, pois não era parte dos objetivos, mas Costa (2001) considera a possibilidade de estar ocorrendo um processo de domesticação dos mosquitos transmissores no município de Itapira. A quarta hipótese foi abordada no Capítulo IV desta dissertação, com o auxílio da Análise de Componentes Principais (ACP). A consideração da terceira hipótese será explicada a seguir.

Foram encontradas altas porcentagens de área (cerca de 50% das áreas referentes às classes das possíveis ZoRC) com IVDN entre 0,45 e 0,65, denotando vegetação bastante densa. Isto pode estar indicando a necessidade de haver área verde suficiente ao redor dos fragmentos para que o mosquito consiga alcançar as habitações humanas, ampliando seu raio de ação de 250 metros em média. Costa (2001) caracterizou a área de estudos como possuidora de considerável porcentagem de área coberta ora por

capoeiras, matas degradadas ou vegetação arbórea em regeneração, ora por pomares e bosques, além da presença das matas, o que concorda com os altos valores de IVDN encontrados.

A alta porcentagem de área (maior que 70%) encontrada nas altitudes menores que 750 metros, corroboram as observações feitas por Gomes & Neves (1998) sobre as condições de sobrevivência da principal espécie transmissora na região, que não suporta altitudes mais elevadas.

III.5 - Conclusões

1 – A metodologia desenvolvida para se individualizar os fragmentos de mata pode ser utilizada por qualquer profissional da saúde que esteja interessado em estudar a LTA. Com esta metodologia o profissional não necessitará se deslocar de seu laboratório para ir ao campo tentar delimitar as matas, otimizando seu trabalho temporal e financeiramente.

2 – Para a incidência da LTA, as análises de altitude e de IVDN podem ser realizadas tanto em 1000, 500 ou 250 metros, que o resultado é semelhante.

3 – A análise da imagem IVDN possibilitou sugerir um padrão paisagístico onde a incidência da doença estaria relacionada não apenas à presença de mata, mas também à presença de outros tipos de vegetação ao redor dos fragmentos, desde que suficientemente densa, o que ampliaria o raio de dispersão do mosquito.

4 – As análises de distância das casas aos fragmentos de mata, associadas à presença de vegetação densa encontrados nas ZoRCs sugerem que um possível processo de domesticação esteja ocorrendo em alguns dos locais estudados.

5 - O estabelecimento das Zonas de Risco de Contato entre o homem e os mosquitos transmissores da LTA se mostrou muito útil na medida em que pode possibilitar a adoção de medidas profiláticas e de controle da doença. A área de risco a ser estabelecida deve ser a mais conservadora possível, tendo em vista que podem estar ocorrendo diferentes tipos de transmissão na área, e que em cada uma poderia ser estabelecida uma ZoRC diferente. Desse modo, a ZoRC de 1000 metros parece mais apropriada para efeito de tomada de medidas profiláticas e de controle da doença.

III.6 - *Figuras*

Figura III-1: Localização do Município de Itapira no estado de São Paulo, Brasil. (Fonte: <http://www.camaramogiguacu.sp.gov.br/localiza.htm>)

(a) Número Descritivo = 2

(b) Número Descritivo = 15

(c) Números Descritivos =
17 e 18

(d) Número Descritivo = 23

Figura III-2: Fotografias de alguns dos locais de estudo. Observe, em todos os casos, a presença de mata e vegetação densa nas proximidades das casas.

Figura III-3 Composição colorida 345, de onde se recortou os limites do município de Itapira, e na qual estão ilustrados os pontos onde houve a doença, com os respectivos números descritivos da Tabela 1, e os raios de dispersão de 1000 metros. (As coordenadas devem ser multiplicadas por 1000 para a obtenção do valor real).

Figura III-4: Fluxograma representando a metodologia desenvolvida para calcular as prováveis Zonas de Risco de Contato entre o homem e os vetores da LTA.

Figura III-5: Imagem Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (IVDN), classificada, num recorte do município de Itapira – SP, datada de 13/05/1996.

Figura III-6: Produto da classificação supervisionada do tipo *Máxima Verossimilhança*, ilustrando as possíveis manchas de vegetação do tipo Floresta no município de Itapira. (As coordenadas devem ser multiplicadas por 1000 para a obtenção do valor real).

Figura III-7: Imagem Pan-Cromática do Município de Itapira.

Figura III-8: Produto da digitalização na tela em uma imagem Pan-Cromática do satélite Landsat TM7, ilustrando os possíveis *habitats* do mosquito relacionados aos casos encontrados no município de Itapira, no período de 1992 a 1997. (As coordenadas devem ser multiplicadas por 1000 para a obtenção do valor real).

Figura III-9: Ilustração do processo de individualização dos fragmentos de mata, tendo por base a mata da Fazenda X: (a) produto da classificação supervisionada referente à mata em questão; (b) observa-se a visualização da mata em uma imagem IVDN; (c) observa-se a visualização da mata em uma Composição Colorida 345; e (d) resultado final, obtido através da digitalização em imagem Pan-Cromática.

Figura III-10: Zonas de Risco de Contato: expansão das bordas dos fragmentos obtidos em digitalização da Imagem Pan-Cromática, relacionados aos casos de LTA em Itapira entre 1992-1997.

Figura III-11: ZoRC (Zona de Risco de Contato) de 1000 metros a partir das bordas das matas, onde se observam as classes de altitude para o município de Itapira-SP, em 13/05/1996.

Figura III-12 ZoRC (Zona de Risco de Contato) de 1000 metros a partir das bordas das matas, onde se observam as classes de IVDN para o município de Itapira-SP, em 13/05/1996. (As coord. devem ser multiplicadas por 1000 para a obtenção do valor real)

Figura III-13: ZoRC (Zona de Risco de Contato) de 500 metros a partir das bordas das matas, onde se observam as classes de altitude para o município de Itapira-SP, em 13/05/1996.

Figura III-14: ZoRC (Zona de Risco de Contato) de 500 metros a partir das bordas das matas, onde se observam as classes de IVDN para o município de Itapira-SP, em 13/05/1996. (As coord. devem ser multiplicadas por 1000 para a obtenção do valor real)

Figura III-15: ZoRC (Zona de Risco de Contato) de 250 metros a partir das bordas das matas, onde se observam as classes de altitude para o município de Itapira-SP, em 13/05/1996.

Figura III-16: ZoRC (Zona de Risco de Contato) de 250 metros a partir das bordas das matas, onde se observam as classes de IVDN para o município de Itapira-SP, em 13/05/1996. (As coord. devem ser multiplicadas por 1000 para a obtenção do valor real)

Figura III-17: Comparação entre os resultados da distribuição das porcentagens de áreas referentes às classes de altitude, encontradas nas ZoRC de 1000, 500 e 250 metros. Classes: 1:600-650; 2:650-700; 3:700-750; 4:750-800; 5:800-900; 6:>900.

Figura III-18: Comparação entre os resultados da distribuição das porcentagens de áreas referentes às classes de IVDN, encontradas nas ZoRC de 1000, 500 e 250 metros. Classes: 1:-1 a 0 / 2: 0,00 a 0,23 / 3:0,23-0,34 / 4:0,34-0,44 / 5:0,44-0,54 / 6:0,54-0,64 / 7:0,64-1.

Figura III-19: Gráfico ilustrando as porcentagens de casos encontrados nas diferentes classes de distância (em metros) à borda do fragmento mais próximo das residências. Classes: 1:0-200; 2:200-300; 3:300-400; 4:400-500; 5:500-600.

CAPÍTULO IV – ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS PARA AVALIAR A EVOLUÇÃO DE UMA PAISAGEM COM INCIDÊNCIA DE LEISHMANIOSE TEGUMENTAR AMERICANA

IV.1 - Introdução

As transformações ocorridas na sociedade são *acumuladas* na paisagem, refletindo mais seu passado que seu presente (Barcellos & Bastos 1996). A incidência da Leishmaniose Tegumentar Americana (LTA) em seres humanos relaciona-se com a paisagem principalmente através dos fragmentos de mata encontrados nas proximidades das habitações humanas. A análise das alterações temporais que as áreas vegetadas sofrem pode indicar algum padrão relacionado à incidência dos casos de LTA.

O contato entre o homem e o vetor foi limitado, no passado, àqueles que entraram e dormiram nas partes mais úmidas da mata, geralmente pescadores e caçadores. Durante o dia o ato de desmatar as matas também pode ter possibilitado o contato do homem com os vetores, e pode ter havido transmissão acidental, já que as fêmeas *flebotomíneas* picam quando perturbadas. Atualmente, no entanto, os modos de transmissão se dão, num primeiro caso, naqueles locais próximos aos *habitats* naturais dos mosquitos, que são os remanescentes de florestas, e num segundo caso, em locais onde os mosquitos já se adaptaram ao ambiente peridoméstico.

A prevalência, incidência, e distribuição da LTA, são influenciadas por atividades humanas que geralmente resultam em desmatamento, como a colonização de novas áreas, atividades de agricultura de subsistência, construção de estradas e exploração comercial da terra. Segundo Walsh *et al.* (1993) a habilidade dos vetores zoofílicos de se adaptarem ao sangue humano como fonte alimentar e se tornarem associados com habitações humanas (ambiente peridomiciliar) tem influenciado a distribuição da Leishmaniose Tegumentar na América do Sul. A extensão de áreas geográficas que sofrem desmatamento também tem aumentado.

Os efeitos do desmatamento na saúde dos seres humanos são diversos e têm aumentado nas últimas décadas. Walsh *et al.* (1993) mencionam que trabalhos realizados na Guiana Francesa revelam que o desmatamento das florestas virgens, em

distância de cerca de 400 metros das habitações humanas, levou à extinção da Leishmaniose Tegumentar, porque assim como as florestas desapareceram, desapareceram também os *habitats* dos mosquitos transmissores. No Brasil, um processo semelhante pode ter ocorrido na metade do século passado, o que aliado a dedetização em larga escala das residências, fez com que a incidência se tornasse nula perto da década de 50. No entanto o número de casos voltou a aumentar, por motivos que não se conhece com clareza, e em muitos locais – no Vale do Ribeira por exemplo – constatou-se que os mosquitos haviam se adaptado ao ambiente doméstico. Um outro processo que pode ocorrer com o desmatamento é a adaptação dos mosquitos a outros ambientes, inclusive o humano. Na região Nordeste do estado de SP não tem havido estudos mencionando este tipo de comportamento (comunicação verbal com Prof. Almério de Castro Gomes, 1999).

A significância global deste processo de destruição tem se tornado aparente através da crescente consciência ambiental, e o monitoramento por satélites tem permitido que sejam feitas estimativas mais precisas das taxas de redução dessas fontes. Para investigar se houve relação entre o desmatamento e as áreas envolvidas na transmissão da LTA no município de Itapira-SP, foi realizada neste capítulo uma análise temporal da evolução do desmatamento. Para tanto, utilizou-se duas imagens orbitais, datadas de 1992 e 1999, na faixa espectral 3, que dá destaque à vegetação. O objetivo desta etapa será avaliar as possíveis influências das alterações sofridas pela paisagem, em termos de vegetação.

O item *Local de Estudos* consta no capítulo II desta dissertação.

IV.1.1 – *Análise de Componentes Principais*

A Análise de Componentes Principais (em inglês PCA – *Principal Component Analysis*), também conhecida como Transformação de Karhunen-Loeve, consiste na geração de novas imagens (PC n), a partir de “ n ” imagens brutas de faixas ou datas diferentes. O procedimento é a rotação das imagens de entrada em busca do eixo de maior dispersão, de modo a gerar novas imagens não correlacionadas entre si. A Primeira Componente Principal (PC1) compreende a maior percentagem do total de variância da cena e cada uma das componentes subsequentes (PC2, PC3,... , PC n) contém uma porcentagem decrescente da variância da cena. Consiste em um rearranjo

matemático matricial, de modo a transformar uma matriz (denominada de *entrada*) em outra (de *saída*), onde os dados resultantes (denominados *componentes*) minimizam a redundância dos dados de entrada, utilizando-se de propriedades de mudança de sistemas de coordenadas, ou seja, de álgebra linear. Este procedimento é muito útil quando realizado com imagens de satélite porque num conjunto de dados referentes a uma mesma cena, há muita informação redundante. A ACP pode ser realizada para dois fins: o primeiro multiespectral, e o segundo multitemporal.

De um modo simplificado, os valores de dados do componente principal são combinações lineares dos valores de dados originais (Lillesand & Kiefer 1994):

$$DN_I = a_{11}DN_A + a_{12}DN_B$$

$$DN_{II} = a_{21}DN_A + a_{22}DN_B$$

onde:

DN_I, DN_{II} = números digitais no novo (Componente Principal) sistema de coordenadas;

DN_A, DN_B = números digitais no velho sistema de coordenadas;

$a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22}$ = coeficientes (constantes) para a transformação.

A ACP pode ser realizada em qualquer situação em que os dados de entrada estejam sob a forma de matriz. Costuma ser realizada em processamento de dados de ondas sonoras, de componentes bioquímicos, de redes neurais e parâmetros ecológicos, assim como imagens de satélite, para eliminar *ruídos* dos dados de entrada e selecionar atributos ou *contraste*. No caso deste trabalho, o ponto de vista da análise será o avesso: os *ruídos*, na forma da PC2, indicarão as alterações ocorridas entre as imagens de entrada.

A ACP pode ser feita de modo padronizado ou não. O modo padronizado é recomendado quando se trabalha com dados que não tenham sofrido alteração temporal. O modo não-padronizado se aplica aos casos onde houve variação temporal.

A Faixa TM-3 dos satélites Landsat, registra a reflectância dos alvos terrestres na faixa do vermelho (comprimentos de onda na faixa 0,63 – 0,69 μm), e indica: (a) alto nível de urbanização se a reflectância for alta, e (b) alta concentração de clorofila se a reflectância for baixa. Tendo isto em vista, utilizou-se a TM-3, em duas datas diferentes: a primeira referente a setembro de 1992 e a segunda referente a agosto de 1999, sendo uma do *Landsat 5 Thematic Mapper* (1992) e a outra do *Landsat 7 Thematic Enhanced* (1999), ambas com resolução espacial de 30 metros.

Para facilitar a compreensão, fez-se uma análise hipotética da dispersão dos pontos de duas imagens TM-3, gerando as Componentes Principais PC1 e PC2, e colocou-se o resultado nos gráficos das Figuras IV-1 e IV-2. Por exemplo: se a reflectância dos alvos estiver representada por um intervalo de Números Digitais baixo em 1992 (presença de vegetação) e se este intervalo tiver aumentado em 1999 (ausência de vegetação), podemos considerar que houve desmatamento. Neste exemplo os Números Digitais relativos a cada Faixa são transformados em valores diferentes nas PC1 e PC2, mas em relação à Segunda Componente Principal, as áreas coloridas rotacionam de modo que sua interpretação permaneça a mesma. A imagem PC1 é muito semelhante com os originais, porque matém o eixo de máxima dispersão, e a imagem PC2 é o contraste ocorrido entre as duas datas. Para interpretar o resultado de duas TM-3 utilizou-se a Figura 1, onde a zona em alaranjado indica os pixels onde não houve variação de uma data para outra; a zona em verde indica que houve perda de reflectância e a zona em lilás indica que houve ganho de reflectância:

Figura IV-1: Distribuição hipotética dos Números Digitais relativos a TM-3 de duas datas (1992 e 1999). Observe que em alaranjado estão localizadas as áreas próximas ao eixo de maior dispersão, e cujos valores são aproximadamente iguais nas duas imagens. Em lilás estão representadas as áreas onde houve ganho de Reflectância entre 1992 e 1999, e em verde a localização da área onde houve perda de Reflectância.

Figura IV-2: Distribuição hipotética dos valores relativos as Componentes 1 e 2 produzidas pela rotação dos eixos da figura anterior. As áreas em alaranjado continuam representando os valores não alterados entre 1992 e 1999, bem como as áreas em lilás e em verde continuam representando ganho e perda, respectivamente.

Como exemplo de trabalhos realizados com este tipo de análise temporal, podem ser citados Eastman & Fulk (1993), Bitencourt (2000) e Maldonado *et al.* (2000).

Eastman & Fulk (1993) realizaram uma ACP padronizada, com 36 imagens IVDN derivadas de imagens mensais AVHRR do satélite NOAA-9, na África. Segundo os autores, a habilidade da ACP em descobrir eventos significativos da mudança sobre séries temporais é muito forte. A ACP mostrou ser uma excelente ferramenta para análises detalhadas de mudanças e de tendências em dados temporais de longos intervalos.

Bitencourt (2000) utilizou a ACP padronizada, com as imagens da faixa TM-4 do Landsat em duas datas, buscando identificar as áreas onde houve ganho de vegetação em área do Cerrado de São Paulo. A PC2 resultante foi dividida em três classes: “baixa variância da reflectância do vermelho”, “não variância” e “alta variância de reflectância”, correspondendo respectivamente a ganho, manutenção e perda de área verde. A PC2 utilizada para a mesma faixa espectral, mas em diferentes datas, se

mostrou apropriada para estimar variação de vegetação de Cerrado entre o o período de seca e de chuva, em qualquer fisionomia deste bioma.

Maldonado *et al.* (2000) utilizou a ACP para verificar as mudanças na cobertura vegetal em uma mesma região Semi-Árida em Pernambuco, Brasil. Foram utilizadas duas imagens da Faixa TM-3 em duas datas: 1984 e 1996. A PC2 foi dividida em cinco classes, com os limites localizados em 1 e 2 desvios padrão a partir da média. O método se mostrou adequado para a detecção das mudanças na cobertura vegetal e no uso da terra na área da Caatinga estudada.

IV.2 – Metodologia do estudo

Neste trabalho, a ACP foi realizada com o auxílio do programa **IDRISI for Windows 2.01**, da *Clark University*, 1997. As análises foram feitas com a utilização da Faixa TM-3, que relaciona presença e ausência de clorofila: quanto maior a reflectância, menor o conteúdo de clorofila, o que pode representar a presença de solo exposto e urbanização, dentre outros. Para utilizar as imagens das duas datas procedeu-se inicialmente ao georreferenciamento de cada uma, separadamente. A imagem de 1992 é um pouco menor que os limites do município, por isto foi necessário recortar a imagem de 1999 exatamente no mesmo tamanho da primeira. Em seguida, foi realizado o *registro* de uma em relação a outra, de modo que um pixel de uma coincidissem com o mesmo pixel da outra imagem.

Com as duas imagens registradas, procedeu-se a ACP, do tipo padronizada. Foram geradas duas Componentes Principais PC1 e PC2, das quais a segunda tornou-se o objeto de análise, pois é esta que guarda o contraste entre as duas datas. Optou-se por classificar a PC2 segundo Maldonado (2000), tendo em vista que tanto a re-vegetação ou desmatamento poderiam acontecer em maior ou em menor intensidade de 1992 a 1999. A PC2 foi então classificada em cinco diferentes classes, de acordo com os seguintes critérios:

Tabela IV-1: Classes escolhidas para a classificação da PC2:

CLASSES DE VARIÂNCIA	DESIGNAÇÃO DA CLASSE	VALORES EXPERIMENTAIS
Média - 2σ < Média - σ	2º LIMITE DE RE-VEGETAÇÃO	Média = 0 σ = Desvio Padrão σ = 0,6831
Mínimo < Média - σ	1º LIMITE DE RE-VEGETAÇÃO	
Média - σ < Média < Média + σ	NÃO MUDOU	
Média + σ < Máximo	1º LIMITE DE DESMATAMENTO	
Média + σ < Média + 2σ	2º LIMITE DE DESMATAMENTO	

Após ter em mãos a PC2 classificada, procedeu-se aos passos seguintes:

- 1) Cada ponto onde houve LTA foi expandido um raio de 1000 metros (os motivos para a escolha desta distância são explicados no Capítulo III desta dissertação).
- 2) O vetor gerado com estes raios foi utilizado para recortar a imagem PC2, já classificada, de modo a individualizar as áreas que estivessem em 1000 metros a partir de cada local onde houve LTA.
- 3) A este novo mapa foi sobreposto o vetor com os fragmentos de mata encontrados.
- 4) Foram feitos recortes do conjunto “Raio de 1000 metros + fragmentos”, e enumerados como mostra a tabela IV-2.
- 5) Em cada recorte gerado a partir de uma ou mais casas, e associado a um ou mais fragmentos, foram calculadas as áreas relativas a cada classe da PC2.
- 6) Foram construídos gráficos relativos às porcentagens de área das classes da PC2, para cada recorte.

IV.3 - Resultados

A Figura IV-3 mostra a Segunda Principal Componente ou PC2, obtida da ACP com a TM-3 das datas 1992 e 1999. Ela foi classificada de acordo com os critérios mencionados na Tabela IV-1, onde: Classe 1 = Segundo limite de re-vegetação; Classe 2 = Primeiro limite de re-vegetação; Classe 3 = Não foi alterada; Classe 4 = Primeiro limite de re-vegetação; Classe 5 = Segundo limite de re-vegetação. Os primeiros limites são aplicados para discriminar áreas que sofreram as menores alterações, enquanto que os segundos limites referem-se àquelas áreas que sofrem as maiores alterações (Maldonado 2000).

Observa-se, de um modo geral, que as áreas de re-vegetação se concentram na região Oeste do município, onde há grandes replantios de eucalipto. As áreas de desmatamento concentram-se, de um modo geral, nas regiões leste e parte da central, onde também se concentram as altitudes mais elevadas do município.

Na Figura IV-4 estão todos os 16 recortes gerados a partir da PC2 classificada (Figura IV-3). Os recortes dos polígonos estão descritos na Tabela IV-2. Esta tabela relaciona cada recorte aos números descritivos (citados no Capítulo III) dos casos de LTA, e ao ano em que ocorreram. Observe nesta figura, por comparação com a Tabela IV-2, que cada recorte representa um ou mais casos da doença, e estão ilustrados em vermelho os limites das matas encontradas no raio de 1000 metros a partir de cada residência onde houve LTA. Para cada recorte foi colocado ao lado o gráfico de porcentagem de área correspondente às classes da PC2 classificada.

Observou-se (Figura IV-4), que os limites das matas (em vermelho) encontradas no raio de 1000 metros a partir de cada casa LTA sofreram pouca ou nenhuma alteração (classe 3, branca) entre 1992 e 1999.

As áreas somadas de todos os recortes, referentes às classes da PC2, estão na Tabela IV-3, a partir da qual foram calculadas as porcentagens relativas, que podem ser observadas na Figura IV-5.

Tabela IV-2: Descrição do recorte, segundo o número descritivo das casas onde houve LTA, o ano de ocorrência dos casos e a distância das casas à borda da mata mais próxima (respectivamente aos números descritivos).

Número do Recorte	Número descritivo dos casos no recorte	Ano de ocorrência	Distância da casa à borda da mata mais próxima (metros)
RECORTE 1	4	1993	510
RECORTE 2	13,14 e 23	1994 (2 casos) e 1996 (1)	545 e 474
RECORTE 3	21	1995	75
RECORTE 4	17,18 e 24	1995 (2) e 1996(1caso)	276 e 210
RECORTE 5	3, 9 e 27	1992, 1993 e 1994	340 e 94
RECORTE 6	25	1997	187
RECORTES 7 E 8	5, 8, 10 e 11	1993 (os 4 casos)	15 ; 0 e 313
RECORTE 9	15	1994	90
RECORTE 10	20	1995	33
RECORTES 11 e 12	2 e 7	1993 (2 casos)	150 e 368
RECORTE 13	1	1992	33
RECORTE 14	6 e 19	1993 e 1995	54 e 260
RECORTE 15	26	1997	424
RECORTE 16	12	1994	441

Tabela IV-3: Somatório das áreas dos polígonos gerados a partir de 1000 metros de raio de cada casa onde houve LTA, nas classes da PC2 gerada na ACP das imagens TM3 de 1992 e 1999:

Classes da PC2	Área (em km ²)
1: Segundo limite re-vegetação	1,28
2: Primeiro limite re-vegetação	4,59
3: Não foi alterado	43,27
4: Primeiro limite de desmatamento	8,32
5: Segundo limite de desmatamento	1,33

Na região onde as altitudes são mais baixas, que coincidem com a região Oeste e parte da Central, os recortes encontrados foram o 1, 2, 3, 4, 5, 7 e 8. Estes recortes apresentaram os maiores índices de re-vegetação, mas também observou-se índices de desmatamento (soma das classes 4 e 5) variando de 1,3 a 35,2 % da área delimitada,

como mostra a Tabela IV-3, onde os Recortes das regiões de altitudes mais baixas estão em vermelho. A média das percentagens de área total desmatada (classes 4 e 5) entre esses recortes foi de 14,35%, enquanto que a média das percentagens relativas à re-vegetação foi de 12,24%.

Tabela IV-4: Áreas percentuais relativas às somas das classes 1+2 e 4+5:

RECORTES / SOMA DAS CLASSES	Classes 1+2 (Re-vegetação)	Classes 4+5 (Desmatamento)
Recorte 1	13,72	1,31
Recorte 2	18,13	6,99
Recorte 3	16,32	13,35
Recorte 4:	12,90	18,00
Recorte 5:	4,26	35,18
Recorte 6:	4,91	33,15
Recorte 7+8:	8,10	11,30
Recorte 9:	5,76	17,06
Recorte 10:	11,44	17,06
Recorte 11+12:	6,86	6,69
Recorte 13:	13,87	19,89
Recorte 14:	9,38	25,83
Recorte 15:	8,11	10,77
Recorte 16:	8,47	19,09

Os outros recortes encontram-se na região onde as altitudes são mais altas, coincidentes com a região Leste e a outra parte da Central. Neste caso, a média das percentagens de área total desmatada foi de 18,69% e a média das percentagens de área total de re-vegetação foi de 8,60%.

Os Recortes 4, 5 e 6 parecem estar associados à grandes desmatamentos ocorridos na área onde eles se encontram, como mostra a Figura IV-3. O mesmo ocorre com os Recortes 13, 14, 15 e 16.

IV.4 - Discussão

A análise das áreas totais referentes às classes da PC2, em todos os recortes, revelou que houve um desmatamento total de 16,5%, dos quais 2,3% pertenciam ao Segundo Limite de Desmatamento. Esta porcentagem pode ser considerada baixa, tendo em vista os grandes desmatamentos que vêm ocorrendo em todo o país, principalmente na região sudeste. Isso indica que desde a data da primeira imagem (1992), as alterações que ocorreram na vegetação podem ser devidas a: (1) Desmatamento do que restava da mata primitiva para urbanização, (2) Desmatamento de áreas reflorestadas ou agrícolas para urbanização, ou (2) Mudança de cultura agrícola, de modo que em 1992 a assinatura espectral tenha sido diferente de 1999.

O motivo de as áreas de desmatamento estarem concentradas na região centroeste do município pode estar ligado ao fato de que grande parte das áreas de mata do município já havia sido desmatada antes de 1992, restando as áreas de difícil acesso, mais elevadas. Desse modo, pode-se inferir que as áreas do centroeste são mais representativas de alterações da cobertura vegetal que resultaram em desmatamento, estando assim mais relacionadas às alterações na incidência da LTA na região.

O fato de os conjuntos de recortes 4+5+6 e 13+14+15+16 estarem associados às áreas onde ocorreram as maiores taxas do Segundo Limite de desmatamento, pode estar indicando a relação direta destes casos com o desmatamento. Isto ocorreria em função da invasão da área intra-florestal (dentro do raio de dispersão do mosquito transmissor) pelos colonos, propiciada pelo desmatamento das áreas restantes de mata.

Segundo Maldonado (2000) as classes referentes aos Segundos Limites, tanto de desmatamento quanto de re-vegetação, representam as áreas onde a alteração se deu de modo mais profundo. O mesmo autor coloca, como visto, que os Primeiros Limites são aplicados para discriminar um grau de mudança de menor magnitude. Como a ACP não discrimina matas de outros tipos de vegetação, está-se considerando que os Segundos Limites de Desmatamento são aqueles que mais influenciavam na presença do mosquito, em 1992. No Capítulo III foi levantada a possibilidade de que a densidade de vegetação esteja influenciando na presença do mosquito. Se considerarmos o Segundo Limite de Desmatamento como indicador de que havia vegetação mais densa em 1992,

poderemos assumir que as áreas relativas a este limite podem estar diretamente relacionadas ao aparecimento dos casos de LTA.

De modo geral conclui-se que taxas de desmatamento muito altas podem estar representando a possibilidade de estes possíveis fragmentos com vetores já tenham desaparecido, pois os casos estudados ocorreram a partir de 1992 (data da imagem mais antiga desta ACP). As taxas de re-vegetação não foram levadas em conta para cada Recorte individualmente porque há casos tanto em 1992 como em 1997, e não se poderia afirmar se o reflorestamento ocorreu antes ou depois do aparecimento da doença para os casos que ocorreram após 1992. Isto porque a ACP foi realizada em dois pontos temporais: 1992 e 1999, sendo desconhecido o processo de transição sofrido.

Nos Recortes 4, 5, 6, 9, 10, 13, 14 e 16, o desmatamento parece ter facilitado o aparecimento da LTA. Isto ocorreria não apenas em função de serem altos os índices relativos ao Primeiro Limite de Desmatamento, mas também pelo fato de as áreas relativas ao Segundo Limite de Desmatamento estarem próximas às do Primeiro limite e também aos fragmentos de mata presentes, em cada Recorte. Desse modo, as áreas relativas ao Segundo Limite de Desmatamento funcionaram como indicadoras de que as áreas relativas ao Primeiro Limite de Desmatamento associadas estariam compondo, em conjunto, uma área de mata em 1992.

Dentre estes Recortes influenciados pelo desmatamento, para aqueles onde se encontrou as maiores distâncias da casa à borda da mata mais próxima (Tabela IV-2) considerou-se cinco possibilidades para indicar o tipo de transmissão: (1) houve adaptação do mosquito ao ambiente doméstico; (2) O mosquito está conseguindo alcançar as casas através de vegetação suficientemente densa ao redor das bordas das matas; (3) os fragmentos que poderiam ser considerados os *habitats* dos vetores teriam sido desmatados; (4) o enfermo freqüentou a mata à noite na época em que adquiriu a doença; (5) a transmissão não ocorreu nos locais citados nem em suas proximidades.

A primeira hipótese parece confirmar os resultados de Costa (2001), que reconheceu estar havendo um processo de domesticação dos mosquitos no município. As duas últimas hipóteses parecem de confirmação inviável, visto que envolve um grau pessoal de confirmação de dados, como por exemplo o de o enfermo se lembrar se freqüentou ou não a mata ou as proximidades dela durante a noite. O fato de as maiores áreas de re-vegetação estarem ocorrendo no oeste do município pode estar ligado ao replantio de eucalipto, o que configura áreas mais abertas, onde a humidade e a

temperatura não propiciaria um ambiente agradável ao mosquito transmissor da LTA. Isto indica que a presença dos eucaliptais não auxilia na dispersão do mosquito, como pode ocorrer com outros tipos de vegetação. A hipótese número 2 foi testada no Capítulo III deste trabalho e mostrou possíveis influências dentro das Zonas de Risco de Contato. A terceira hipótese se mostrou válida para os Recortes 4, 5 e 14, cujas distâncias das casas à borda das matas são respectivamente de 276, 340 e 260, e onde se observa associação do Segundo com o Primeiro Limite de Desmatamento.

IV.5 - Conclusões

1 – Com a utilização da Análise de Componentes Principais foi possível quantificar a evolução do desmatamento nas áreas relacionadas à incidência de LTA.

2 – Em algumas das áreas onde houve transmissão de LTA foi possível relacionar o desmatamento à incidência da doença.

3 – Em alguns locais foi possível identificar possíveis fragmentos desmatados, que podem ter influenciado no aparecimento da doença nestes locais.

4 – Nos casos onde o desmatamento não colaborou para a incidência da LTA e onde a distância das casas à borda do fragmento mais próximo ultrapassou os 250 metros (alcance de vôo médio dos flebotomíneos), supõe-se que esteja havendo um processo de domesticação dos mosquitos transmissores.

5 – A análise da ACP mostrou a necessidade de as análises temporais serem realizadas em intervalos menores de tempo, já que em muitos locais não se pode ter certeza se a alteração se deu antes ou depois da ocorrência dos casos.

6 – Sugere-se que para análises temporais com áreas onde tenha ocorrido LTA, sejam utilizadas, quando possível, as imagens mais antigas possíveis das áreas, de modo a ilustrar o processo completo de desmatamento.

IV.6 - *Figuras*

Figura IV-3: Segunda Principal Componente classificada, resultante da ACP das Faixas 3 das datas setembro-1992 e agosto-1999. Estão ilustrados em preto os limites de 1000 metros a partir de cada casa onde houve LTA, e também as matas encontradas dentro ou nas proximidades desse raio. Os pontos referentes às casas estão em azul e os números descritivos e ano de incidência se encontram próximos a cada ponto.

Recorte 1

Recorte 2

Recorte 3

Recorte 4

Recorte 5

Figura IV-4: Recortes de 1 a 16, obtidos a partir da PC2 classificada, com os raios de 1000 metros a partir das casas onde houve LTA, e com os limites das matas associadas. Ao lado de cada recorte se encontram as áreas percentuais correspondentes a cada classe da PC2: 1: Segundo limite re-vegetação; 2 Primeiro limite re-vegetação; 3 Não foi alterado; 4 Primeiro limite de desmatamento; 5 Segundo limite de desmatamento.

Figura IV-5: Porcentagem total das áreas das classes de variância da Componente Principal 2, nos recortes da tabela IV-1. As classes de variância são - **1**: 2º limite de ganho de vegetação; **2**: 1º limite de ganho de vegetação; **3**: Não mudou; **4**: 1º limite de desmatamento; **5**: 2º limite de desmatamento.

V – Conclusões Gerais

1 – Este estudo mostrou que pode ser realizado em larga escala, de modo que seja possível ao pesquisador da saúde pública estabelecer as áreas prováveis de risco sem que necessite ir a campo para confirmar os limites de todas as matas. O tipo de análise realizada pode auxiliar também nos estudos que visem calcular o raio de dispersão do mosquito transmissor.

2 – As pequenas alterações verificadas nas bordas das matas, entre 1992 e 1999, pode estar indicando que estas são realmente fonte permanente de flebótomos, ou pelo menos de reservatórios permanentes da LTA para os casos onde há suspeita de domesticação. Os mapas gerados podem facilitar ao epidemiologista as indicações dos melhores locais para coleta de mosquitos.

3 – Os resultados dos capítulos III e IV concordam com a *possibilidade* de estar havendo domesticação dos vetores em pelo menos alguns dos locais onde houve LTA no município de Itapira entre 1992 e 1997.

4 – De modo geral, foi concluído que pode estar havendo três tipos de transmissão na área: (1) transmissão intra-florestal, ou seja, nos locais onde a casa está localizada dentro do raio de dispersão do mosquito transmissor (em média 250 metros); (2) transmissão extra-florestal, possibilitada pela alta porcentagem de área densamente vegetada ao redor dos fragmentos, por onde o mosquito poderia transitar; e (3) transmissão domiciliar, fruto de um possível processo de domesticação, onde os mosquitos desenvolveriam seu ciclo completo nas dependências das casas e onde seria possível o trânsito, entre o fragmento e a casa, de animais reservatórios contaminados, dos quais o mosquito poderia adquirir a doença. Isto está resumido na figura a seguir:

Figura V-1: Possibilidades de tipos de transmissão da LTA que pode estar havendo no município Itapira-SP.

VI- Referências Bibliográficas

ALCAIS, A. *et al.*, 1997. Risk Factors for Onset of Cutaneous and Mucocutaneous Leishmaniasis in Bolivia. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, **57**(1): 79-84.

ARAGÃO, M.B., 1988. A Epidemiologia Paisagística no Brasil. *Cad. Saúde Públ.*, Rio de Janeiro, **1**(4):106-109.

BALBUS JM , 1998. “Human Health” *in* HANDBOOK ON METHODS FOR CLIMATE CHANGE IMPACT ASSESSMENT AND ADAPTATION STRATEGIES. Feenstra J. United Nations Environmental Programme (UNEP)/ Institute for Environmental Studies, Vrije Universiteit, Amsterdam.

BARCELLOS, C. & BASTOS, F.I., 1996. Geoprocessamento, Ambiente e Saúde: uma União Possível? *Cad. Saúde Públ.*, Rio de Janeiro, **12**(3): 389-397.

BEAGLEHOLE *et al.* 1994 EPIDEMIOLOGÍA BÁSICA. Edit. Organización Panamericana de la Salud, 186 pág.

BECK, L.R., *et al.* 2000. Remote Sensing and Human Health: New Sensors and New Opportunities. *Emerging Infectious Diseases*, **6**(3):217-226.

BECK, L.R.; *et al.*, 1994. Remote Sensing as a Landscape Epidemiologic Tool to Identify Villages at High Risk for Malaria Transmission. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, **51**(3): 271-280.

BITENCOURT, M.D. 2000. PCA Used to Discriminate Phenological Variations in Cerrado Physiognomy, in São Paulo – Brazil. IAPRS, vol. XXXIII, Amsterdam.

BURROUGH, P.A., 1986. PRINCIPLES OF GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS FOR LAND RESOURCES ASSESSMENT. Clarendon Press, Oxford.194 pág.

CLARKE, K.C., *et al.* 1996. On Epidemiology and Geographic Information Systems: a Review and Discussion of Future Directions. *Emerging Infectious Diseases*, **2**(2):85-92.

CONNOR, S.J. *et al.* 1995. *in* GIS FOR HEALTH AND THE ENVIRONMENT. Don de Savigny and Pandu Wijeyaratne, 172 pp.. <http://www.idrc.ca/books/focus/766/mbarki.html>

CORTE, A.A. *et al.* 1996. Aspectos Eco-epidemiológicos da Leishmaniose Tegumentar Americana no Município de Campinas. *Cad. Saúde Públ.*, **12**(4): 465-472.

COSTA, A.I.P. 2001. ESTUDO DE FATORES AMBIENTAIS ASSOCIADOS À TRANSMISSÃO DA LEISHMANIOSE TEGUMENTAR AMERICANA ATRAVÉS DO SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL E SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA. Tese de doutorado apresentada na FSP – USP, São Paulo, SP. 80 p.

CRONER, C. & BROOME, F.R., 1996. Geographic Information Systems (GIS): New Perspectives in Understanding Human Health and Environmental Relationships. *Statistics in medicine*, **15**: 1961-1977.

CROSS, E.R., *et al.*, 1996. Use of Weather Data and Remote Sensing to Predict the Geographic and Seasonal Distribution of *Phlebotomus papatasi* in Southwest Asia. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, **54**(5): 530-536.

CHANG, K.P. & BRAY, R.S. ,1985. HUMAN PARASITIC DISEASES, 0169-3727 ; v. 1: LEISHMANIASIS . Elsevier Science Pub. Co., 490 p..

CHAVEZ, P.S. *et al.* 1994. Automatic Detection of Vegetation Changes in the Southwestern United States Using Remotely Sensed Images. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **60**(5): 571-583.

DISTER, S.W., *et al.* 1997. Landscape Characterization of Peridomestic Risk for Lyme Disease Using Satellite Imagery. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* **57**(6): 687-692.

DOURADO, M.I.C. *et al.* 1989. Epidemiologia da Leishmaniose Tegumentar Americana e suas relações com a lavoura e o garimpo, em localidade do estado da Bahia (Brasil). *Rev. Saúde Públ., S. Paulo*, **23**(1): 2-8.

EASTMAN, J.R. & FULK, M. 1993. Long Sequence Time Series Evaluation Using Standardized Principal Components. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **59** (6): 991-996.

FORATTINI, O.P, 1973. ENTOMOLOGIA MÉDICA. São Paulo: Edgard Blucher / Editora da Universidade de São Paulo; Volume IV.

FULLER, R.M, *et al.* 1998. The integration of field survey and remote sensing for biodiversity assessment: a case study in the tropical forests and wetlands of Sango Bay, Uganda. *Biological Conservation*, **86**: 379-391.

GOMES, A.C., 1986. Mecanismos e significado epidemiológico da domiciliação. *Rev. Saúde Públ., S. Paulo*, **20**(5): 385-390.

GOMES, A.C., 1992. Perfil epidemiológico da Leishmaniose Tegumentar no Brasil. *An. Bras. Dermatol.*, **67**(2): 55-60

GOMES, A.C., 1994. Sand fly vectorial ecology in the state of São Paulo. *Mem. do Inst. Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro*, **89**(3): 457-460.

GOMES, A.C. e GALATI, E.A.B.; 1987. Aspectos ecológicos da Leishmaniose Tegumentar Americana. 5- Estratificação da atividade espacial e estacional de Phlebotominae (Díptera, Psychodidae) em áreas de cultura agrícola da região do Vale do Ribeira, estado de São Paulo, Brasil. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro*, **82**(4): 467-473.

GOMES, A.C. e GALATI, E.A.B.; 1989. Aspectos ecológicos da Leishmaniose Tegumentar Americana. 7. Capacidade vetorial flebotomínea em ambiente florestal

primário do sistema da Serra do Mar, Região do Vale do Paraíba, estado de São Paulo, Brasil. Rev Saúde Públ, S. Paulo, **20**(4): 280-287.

GOMES, A.C. & NEVES, V.L.F.C.; 1998. Estratégias e perspectivas de controle da Leishmaniose Tegumentar no Estado de São Paulo. Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical, **31**(6):553-558.

GOMES, A.C. *et al.*, 1983. Aspectos ecológicos da Leishmaniose Tegumentar Americana. 3. Observações naturais sobre o ritmo diário da atividade de *Psychodopygus intermedius* em ambiente florestal e extraflorestal. Rev. Saúde Públ., S. Paulo, **17**:23-30.

GOMES, A.C. *et al.*; 1986. Ecological aspectos of American Cutaneous Leishmaniasis. 4. Observations on the endophilic behavior of the sandfly and the vectorial role of *Psychodopygus intermedius* in the Ribeira Valey Region of the S. Paulo state, Brazil. Rev. Saúde Públ., S. Paulo, **20**(4): 280-287.

GOMES, A.C. *et al.* 1989. Aspectos ecológicos da Leishmaniose Tegumentar Americana. 6- Fauna flebotomínea antropófila de matas residuais situadas na região centro-nordeste do estado de São Paulo, Brasil. Rev. Inst. Med. trop. São Paulo, **31**(1): 32-39.

GOMES, A.C. *et al.*, 1990. Aspectos ecológicos da Leishmaniose Tegumentar Americana. 8. Avaliação da atividade enzoótica de *Leishmania (Viannia) braziliensis*, em ambiente florestal e peridomiciliar, região do Vale do Ribeira, estado de São Paulo, Brasil. Rev. Inst. Med. Trop., São Paulo, **32**(2): 105-115.

GOMES, A.C. *et al.* 1992. Aspectos ecológicos da Leishmaniose Tegumentar Americana. 9-Prevalência/Incidência da infecção humana nos municípios de Pedro de Toledo e Miracatu, São Paulo, Brasil. Rev. Inst. Med. trop. São Paulo, **34**(2): 149-158.

FNS. GUIA DE CONTROLE DA LTA, 1992 - Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde (FNS), Dermatologia Sanitária, Brasília. 46 pág.

HASSAN, A.N. 1999. The use of GIS to identify environmental factors associated with Cutaneous Leishmaniasis transmission risk in Northeast Sinai, Egypt. *in* TOWARDS DIGITAL EARTH - PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON DIGITAL EARTH, Science Press, 1086 pág.

HUGH-JONES, M.; 1989. Applications of Remote Sensing to the identification of the Habitats of Parasites and Disease Vectors. *Parasitology Today*, **5** (8): 244-252.

HUNTER,L., 1996. THE ENVIRONMENTAL IMPLICATIONS OF POPULATION DYNAMICS. Colaboradores: Rand Corporation's Population Matters Series, 98 pág.

KITRON, U. & KAZMIERCZAK, J.J., 1997. Spatial Analysis of the Distribution of Lyme Disease in Wisconsin. *Am. J. Epidemiol.* **145**(6):558-566.

KITRON, U., *et al.*, 1994. Geographic information System in malaria surveillance: mosquito breeding and imported cases in Israel. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* **50**(5): 550-556. 1994.

KOCHTCHEEVA, L. & SINGH, A., 2000 UNEP, 2000. An Assessment of Risks and Threats to Human Health Associated with the Degradation of Ecosystems. NAIROBI, UNEP. 2-27 p.

LAINSON, R. *et al.* 1994. The Dermal Leishmaniasis of Brazil, with special reference to the Eco-epidemiology of the disease in Amazonia. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz*, Rio de Janeiro, **89**(3): 435-443.

LILLESAND, T.M. & KIEFER, R.W, 1994. REMOTE SENSING AND IMAGE INTERPRETATION. 3nd. John Wiley & Sons, Inc. 750 p..

MALDONADO, F.D. *et al.* 2000. Caracterización de câmbios e influencia climática sobre la cobertura vegetal em el semiárido brasileño mediante Análisis de Componentes Principales. *Revista de Teledetección*, **13**:27-36.

MBARKI, L. *et al.* 1995. Monitoring Zoonotic Cutaneous Leishmaniasis with GIS, *in* GIS FOR HEALTH AND THE ENVIRONMENT. Don de Savigny and Pandu Wijeyaratne, 172 pp.. <http://www.idrc.ca/books/focus/766/mbarki.html>

MEADE *ET AL.* 1988. MEDICAL GEOGRAPHY. New York: The Guilford Press. 340 pág.

METZGER, J.P., 1999. Estrutura da Paisagem e Fragmentação: Análise Bibliográfica. An. Acad. Bras. Ci., **71** (3-I): 445-463

MIRANDA, C., *et al.*, 1996. Análise da ocorrência de Leishmaniose Tegumentar Americana através de imagem obtida por Sensoriamento Remoto Orbital em localidade urbana da região Sudeste do Brasil. Rev Saúde Públ, **30**(5): 433-437.

MOREIRA, M.A., 2001. FUNDAMENTOS DO SENSORIAMENTO REMOTO E METODOLOGIAS DE APLICAÇÃO. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). 250 pág.

MUCCI, L.F., 2000. MODELAGEM ESPACIAL DO RISCO EPIDEMIOLÓGICO PARA MALÁRIA EM PORÇÃO PAULISTA DA ZONA DE INFLUÊNCIA DO RESERVATÓRIO DE PORTO PRIMAVERA. Dissertação de mestrado. Instituto de Biociências, USP - São Paulo.

NEVES, V.L.F.C 1999. CARACTERÍSTICAS DA TRANSMISSÃO DA LEISHMANIOSE TEGUMENTAR AMERICANA NO ESTADO DE SÃO PAULO, BRASIL. Dissertação de mestrado – Faculdade de Saúde Pública – USP.

NEVES, D.P., 1985. PARASITOLOGIA HUMANA. Atheneu, Rio de Janeiro. 445 p.

NJEMANZE, P.C., *et al.*, 1999. Application of risk analysis and Geographic Information System technologies to the prevention of diarrheal diseases in Nigeria. Am. J. Trop. Med. Hyg., **61**(3): 356-360.

NUTTAL, I., *et al.*, 1995. GIS Management Tools for the Control of Tropical Diseases: Applications in Botswana, Senegal, and Morocco. *in* GIS FOR HEALTH AND THE

ENVIRONMENT. Don de Savigny and Pandu Wijeyaratne, 172 pp..
<http://www.idrc.ca/books/focus/766/mbarki.html>

RANGEL, O. & VIDO, A.A., 1997. Fauna flebotomínea de Leishmaniose Tegumentar Americana na região de São João da Boa Vista – SP. Rev. Patologia Tropical, **26**(1): 17-24.

ROSA, R., 1995. INTRODUÇÃO AO SENSORIAMENTO REMOTO. 3^a ed.. Uberlândia, Ed. Da Universidade Federal de Uberlândia. 117 pág.

TAYLOR, D. 1997. Seeing the Forests for more than the Trees. Environmental Health Perspectives, **105**:1186-1191.

THOMSON, M.C., *et al.* 1997. Mapping Malaria Risk in Africa: What can Satellite Data Contribute? Parasitology Today, **13**(8):313-318.

TOLEZANO, J.E. 1994. Ecoepidemiological aspects of American Cutaneous Leishmaniasis in the state of São Paulo, Brazil. Mem Inst Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, **89**(3): 427-434.

VERHASSELT, Y., 1993. Geography of Health: some trends and perspectives. Soc. Sci. Med. **36**(2):119-123.

WALSH, J.F., *et al.*, 1993. Deforestation: effects on vector-borne disease. Parasitology, **106**: S55-S75.

WASHINO & WOOD 1994. Application of Remote Sensing to arthropod vector surveillance and control. Am. J. Trop. Med. Hyg., Suplemento do Vol. **50**(6): 134-144.