

SENSORIAMENTO REMOTO EM LEVANTAMENTO ARQUEOLÓGICO:

TESTE DE DETECÇÃO NO VALE DO PARAÍBA DO SUL, BRASIL

R.E. Chohfi¹, M. Covre², M. Crossetti², R. Ferraz³,
W. Pereira F.², B. Soares², C. Veiga²

1. University of California, Los Angeles (UCLA)
2. Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE)
3. Universidade de Campinas (UNICAMP)

RESUMO

O objetivo deste estudo é o de testar uma metodologia de detecção de sítios arqueológicos usando dados e técnicas de sensoriamento remoto. As regiões do estudo estão no Vale do Paraíba do Sul, Estado de São Paulo, Brasil. Duas áreas foram selecionadas no Vale para este estudo pelo fato que continham depósitos culturais indígenas e uma rota de transporte dos Tropeiros. Os resultados indicam que a metodologia empregada pode ser usada como ferramenta de trabalho na identificação e delineamento de sítios com depósitos culturais no Brasil. Foi possível a localização dos sítios conhecidos e de outros ainda não conhecidos. O tratamento das fotografias aéreas digitalizadas apresentou feições de superfície dos depósitos culturais a nível dos sítios, e o processamento dos dados do TM/Landsat proporcionou uma análise sinótica do uso do solo pelas culturas estudadas.

1. INTRODUÇÃO

O primeiro sítio arqueológico a ser fotografado do ar foi o Stonehenge na Inglaterra em 1906. Nesta mesma época, Henry S. Welcome usou cameras suspensas em papagaios de papel para fazer o monitoramento de excavações arqueológicas no Sudão. As normas de interpretação de fotografias aéreas em arqueologia foram estabelecidas gradualmente com as várias publicações de O.S.G. Crawford, incluindo o clássico livro "Wessex from the air" (1928). Com o desenvolvimento da tecnologia de fotografias aéreas durante a Segunda Guerra Mundial, o seu uso em arqueologia se intensificou na Europa e nos E.U.A.

Ultimamente, os sensores remotos como aqueles a bordo de satélites como o Landsat e Spot, do Space Shuttle, e aviões de reconhecimento vem fornecendo dados digitais de sítios arqueológicos que tem revolucionando a disciplina de arqueologia. Uma síntese moderna das aplicações de sensoriamento remoto em arqueologia, antropologia, e recursos culturais em geral é dada por Ebert e Lyons (1983) e publicações do U.S. National Park Service (1977a, b, c, 1978a, b, c, 1980, 1981). No Brasil, temos uma proposta de pesquisa (Cicivizzo e Sausen 1986) para o desenvolvimento de uma metodologia de identificação de sítios arqueológicos usando dados do TM/Landsat e feições geomorfológicas na região do rio Paranapanema, Estado de São Paulo. Apesar de boas recomendações metodológicas não foi possível o desenvolvimento daquela proposta até o momento.

O presente trabalho relata os resultados de um estudo que teve por objetivo testar uma metodologia de detecção e identificação de sítios arqueológicos na região do Vale do Paraíba do Sul, Estado de São Paulo, Brasil. Esta metodologia foi usada anteriormente na detecção e localização de vários sítios arqueológicos e rotas de transporte pré-Hispanicas nos Andes Centrais do Sul do Perú (Chohfi 1987a, b). O desenvolvimento do estudo aqui apresentado se deu durante o seminário, "Aplicações de sensoriamento remoto em arqueologia: Métodos tradicionais e avançados" que foi promovido pelo INPE e ministrado pelo autor principal. A equipe participante tinha uma formação interdisciplinar que possibilitou a contribuição global sobre vários aspectos físicos, culturais, e metodológicos do estudo. Estes são expostos a seguir.

2. ÁREAS DE ESTUDO: ASPECTOS FÍSICOS E CULTURAIS

As áreas de estudo se encontram no Vale do Paraíba que corresponde a uma porção do Planalto Atlântico, mais especificamente o Planalto do Paraitinga (Almeida 1964). Ele é um amplo vale fluvial (55.400 Km²) com relevo abatido e ladeado pela Serra do Mar a Sudeste e a Serra da Mantiqueira a Noroeste. Geologicamente consiste de uma fossa tectônica onde se depositaram sedimentos fluviais e lacustres de idade relativa ao Terciário (Almeida 1964). A elevação do terreno varia de aproximadamente 500 a 2665 metros (IGC 1982). O clima regional pode ser classificado como Af, sendo um clima tropical húmido com suficiente precipitação todos os meses do ano e verões quentes (Köppen 1954). A vegetação nativa foi em grande parte destruída por processos antropogênicos dos últimos séculos, sendo que os remanescentes da exuberante Floresta Atlântica são encontrados em pequenas ilhas cercadas por pastagens e campos antrópicos e na Vertente Oriental da Serra do Mar, onde uma exuberante floresta nativa ainda é encontrada (IGC 1980a, b, c).

Os apontamentos históricos para o estudo da ocupação (séculos XVI-XIX) pelos indígenas no Vale do Paraíba são encontrados em Reis (1979), que facilitou a obtenção do

material descrito nos parágrafos seguintes. Entre as culturas indígenas que ocuparam o Vale neste período pode-se citar os Carijós, Gerominis, Guaianazes, Guarulhos, Maromimis, Puris, Tamoios, e Tupiaries entre outros. Há também evidência arqueológica preliminar de uma presença remota da cultura Tupi-guarani, indicando uma ocupação dinâmica para o Vale, no tempo e no espaço, porém sem uma cronologia absoluta estabelecida.

Em geral, o indígena da região vivia da caça e pesca, da colheita de mel e frutas silvestres, e pequeno uso de agricultura. Seus padrões de assentamento eram moradias em pequenas choupanas confeccionadas possivelmente de madeiras fincadas no chão e com coberturas de folhas. Ou talvez como mostra a Figura 1, que foi obtida de Reis (1979). Eles trabalhavam com muitos materiais naturais como pedra, madeira, fibras vegetais, tintas naturais, argila e barro, e ossos.

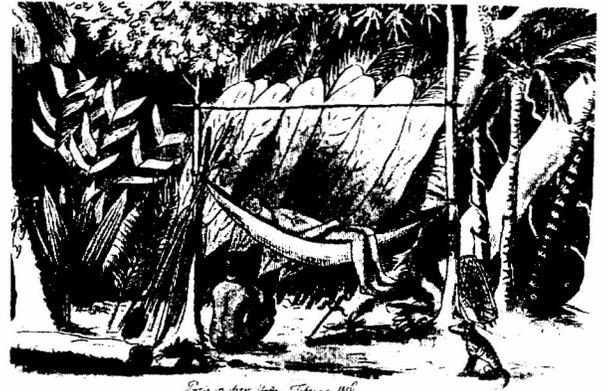


Fig. 1

A ausência de estudos arqueológicos na região não permite no momento a determinação das culturas que ocuparam os sítios arqueológicos. Uma análise detalhada sobre a ocupação cultural anterior a colonização portuguesa só será possível após a conclusão de pesquisa arqueológica feita com métodos sistemáticos, como por exemplo, a estratigrafia, datação absoluta, interpretação do material lítico e cerâmico, paleo-botânica, e exploração regional.

No entanto, um relato etno-histórico das tropas, tropeiros, e cargueiros no Vale do Paraíba já foi apresentado em detalhes por Maia e Maia (1980), de onde a seguinte informação foi tirada. A zona do Alto Vale foi propícia ao desenvolvimento do transporte a lombo de burro. Este evoluiria para as tropas, que, as centenas e milhares, por mais de três séculos traçaram as rotas entre as vilas, pousos, e entreposto. Inicialmente foi o transporte do ouro e das riquezas de Minas Gerais.

Depois foi o café do Vale do Paraíba para os portos do litoral, e ainda das muitas fazendas produzindo na própria região. Durante a década de 1960 ainda era possível encontrar uma tropa toda equipada e carregada como antigamente, assim como mostra o desenho de Maia e Maia (1980) na Figura 2. Na década de 1980, os tropeiros e cargueiros continuam ocupando a mesma região, porém utilizando veículos a motor por



Fig. 2

novos caminhos. Informação pertinente aos dois sítios arqueológicos estudados é dada brevemente nos seguintes parágrafos.

2.1. SÍTIO GUIMARÃES

O sítio está localizado na Serra das Pedrinhas, Fazenda Paraitinga, no município de Cunha, Estado de São Paulo (Fig. 3). O mesmo está situado na vertente de uma extensa colina que está ladeada pelo rio Paraitinga e por seu afluente o correjo Salopão.

Aproximadamente, esta situado na latitude 23° Sul, longitude 45° Oeste, e altitude de 900 metros. Os vestígios do depósito cultural se estendem por uma extensão de aproximadamente 200 metros, ao longo do corte de uma estrada rural. Esta estrada corta e divide o sítio (Petri 1979). O Sítio Guimarães é muito rico porque possui depósitos culturais indígenas e parte de uma rota dos Tropeiros.

2.2. SÍTIO JACAREÍ

Este sítio está localizado no município de Jacareí, Estado de São Paulo (Fig. 3). O mesmo encontra-se na área industrial entre aquele município e São José dos Campos (latitude: 23° 10' Sul, longitude: 45° 55' Oeste, altitude: 700 metros). O depósito cultural deste sítio é composto de material de origem indígena.

3. MATERIAL E MÉTODO

Os seguintes equipamentos e materiais foram utilizados:

- a. Dados arqueológicos, antropológicos, e etnohistóricos.
- b. Cartas topográficas a escalas 1:50.000 e 1:25.000.
- c. Pares estereoscópicos de fotografias aéreas pancromáticas em escala aproximada de 1:2.500 e 1:45.000, obtidas em 1986 a partir de câmera métrica Wild RC-10 com lente objetiva super grande angular tendo uma distância focal de 88,31 mm e formato 22,85 cm.
- d. Estereoscópios de espelho e lupas.
- e. CCD imageador de matriz linear (EIKONIX).
- f. Sistemas de tratamento de imagens Image-100 e SITIM-150.
- g. Produto digital TM/Landsat bandas 3, 4, e 5 da órbita 218 e ponto 76 de 22/06/84.
- h. Fitas magnéticas 1600 BPI, 2400 pés.
- i. Material de desenho técnico.

Os autores não endossam os produtos comerciais mencionados neste trabalho. Estes são os produtos disponíveis no INPE para pesquisas.

Os procedimentos metodológicos desenvolveram-se em duas fases distintas e complementares. Primeiramente, visando avaliar o potencial da metodologia de detecção dos sítios já conhecidos e selecionados, partiu-se de uma abordagem em micro escala evoluindo posteriormente para a macro escala. Ou seja, de uma análise da forma e disposição do sítio arqueológico em si para o estudo das características fisiográficas regionais e de um ponto de vista sinótico.

Na fase posterior executou-se o inverso, partiu-se do geral para o específico com a finalidade de identificar novos locais nas cercanias dos sítios conhecidos, que tivessem

padrões semelhantes e assim sendo potencialmente de valor arqueológico. As duas fases foram desenvolvidas em cinco etapas, as quais são descritas a seguir:

Primeira etapa: Seleção dos sítios arqueológicos.

Relatos de achados de sítios arqueológicos revelaram a localização de alguns sítios de assentamentos indígenas nativos da região de estudo, e selecionou-se duas áreas para o teste aqui descrito.

Segunda etapa: Localização e levantamneto de superfície.

Cartas topográficas e fotografias aéreas foram utilizadas para localização das áreas de estudo. Executou-se um levantamneto de superfície do Sítio Guimarães visando estudar os aspectos da localização, topografia, orientação, feições geomorfológicas, uso atual da terra, e composição e distribuição dos diferentes alvos. Este levantamento constituiu o primeiro estágio de informação buscando-se fornecer subsidios qualitativos para as etapas seguintes de fotointerpretação visual e tratamento digital no INPE.

Terceira etapa: Interpretação visual de pares estereoscópicos.

Pares estereoscópicos de fotografias aéreas pancromáticas em escalas de 1:45.000 (Sítio Guimarães) e 1:2.500 (Sítio Jacarei) foram interpretados. As áreas de estudo foram esquematicamente delimitadas e tematizados os caminhos, feições geométricas, atividade antrópica, tonalidade, e textura. Relacionou-se os resultados da fotointerpretação com os dados obtidos na primeira etapa para criar o segundo estágio de informação. Nesta etapa também delimitou-se a área da fotografia aérea a ser convertida para o modo digital.

Quarta etapa: Converção para o modo digital.

Utilizando-se o imageador de matriz linear procedeu-se a conversão da fotografia aérea para a forma digital, e armazenando os dados em fita magnética compatíveis com os sistemas de tratamento de imagens disponíveis no INPE. Devido as diferentes escalas dos produtos fotográficos dos dois sítios arqueológicos, os dados digitais resultantes também tiveram especificações diferenciadas como mostra o Quadro 1. O procedimento de conversão dos dados foi o seguinte: a. primeira calibração dos detetores, b. segunda calibração para ajuste da intensidade luminosa, c. teste do resultado da calibração através de conversão de uma superfície homogênea e avaliação do histograma realçado linearmente, d. ajuste do foco eletrônico e verificação do mesmo, e. execução da conversão digital, e f. armazenamento dos dados em fita magnética.

Quinta etapa: Tratamento digital.

As técnicas de tratamento de imagens permitem trabalhar em várias escalas. Primeiramente os dados digitais de uma fotografia foram tratados a uma escala de detalhes. Desta forma a área do sítio foi ampliada para a aplicação de técnicas de realce. Como os processadores de imagens operam em vários canais, a mesma imagem foi tratada em paralelo pelas diversas técnicas de realce para a comparação dos resultados. Entre as técnicas usadas pode-se citar a filtragem espacial por filtros lineares do tipo passa alta e ampliação linear de contraste, seguido por fatiamento e geração de imagens de

pseudo-côres. Um dos filtros empregados foi uma matriz de 5x5 com os seguintes elementos: -2, -2, -2, -2, -2; -1, -1, -2, -1, -1; -2, -2, 28, -2, -2; -1, -1, -2, -1, -1; e -2, -2, -2, -2, -2.

A partir do reconhecimento a nível de detalhe do sítio, buscou-se uma escala de trabalho a nível regional, utilizando-se para isso imagens do sensor TM/Landsat-5. Foram geradas composições coloridas usando os canais 4, 3, e 5 (RGB), com aplicação linear de contraste independentes para cada canal. Foi feita uma classificação supervisionada pelo método do paralelepípedo, usando como áreas de treinamento a extensão onde se encontra o sítio arqueológico.

4. RESULTADOS, CONCLUSÕES, E RECOMENDAÇÕES

O histograma das imagens geradas com o imageador são dados na Figura 4. Quadro 2 contém alguns a estatística destas imagens.

Quando modificado o peso do elemento central da matriz do filtro espacial do tipo passa alta mencionado anteriormente, obteve-se operadores digitais mais ou menos intensos dependendo se este elemento fosse aumentado ou diminuído, respectivamente. Este tipo de processamento salientou os limites entre a região com diferentes texturas ou níveis de cinza na imagem, realçando feições lineares relacionadas ou não com a geometria dos depósitos arqueológicos.

Em paralelo a este tratamento, áreas agora melhor identificadas na imagem filtrada e mostrando feições geométricas de interesse são mostradas no cursor e classificadas pela técnica de fatiamento de níveis de cinza da imagem original. Estas feições geométricas incluem formas circulares e padrões lineares regulares, estando relacionadas com a distribuição dos depósitos culturais. Com isso consegue-se isolar estes padrões geométricos de outras feições naturais, e ao mesmo tempo detectar essas feições em porções ainda não reconhecidas na imagem.

Os dados do TM/Landsat-5 favoreceram a identificação de outras áreas com condições fisiográficas análogas as encontradas no Sítio Guimarães. Por exemplo, as vertentes com as mesmas condições de iluminação solar, devido as mesmas inclinações e orientações, situadas á margens do rio Paraitinga, seriam propícias para outros assentamentos indígenas.

A transformação de um produto fotográfico ao modo digital e o conseqüente acesso as técnicas de tratamento de imagens digitais, proporcionam uma maior capacidade de interação técnica com as feições do alvo, possibilitando assim uma rápida manipulação, realçamento, e registro de informações.

As técnicas utilizadas permitiram visualizar diversas formas superficiais que podem estar relacionadas com padrões de assentamentos de antigas tribos indígenas. No Sítio Jacareí, foi identificada uma forma circular fechada que pode ser relacionada aos limites do povoamento primitivo. No Sítio Guimarães, foram identificadas formas retangulares possivelmente indicativas de antigas áreas de ocupação, e portanto, alvo para futuras explorações arqueológicas. Pelas imagens do TM foram identificadas duas áreas próximas do Sítio Guimarães com padrões fisiográficos análogos e por conseqüente promissoras a investigações locais.

Um desses locais foi investigado mais detalhadamente com o tratamento da fotografias aérea em forma digital, constatando a presença de uma feição semi-circular na proximidade da antiga rota dos Tropeiros, que segundo relatos históricos era um dos caminhos que ligavam Parati ao Vale do Paraíba. A rota dos Tropeiros foi muito bem delineada com a aplicação do filtro espacial de passa alta devido a sua característica linear. Duas áreas foram identificadas perto do Sítio Guimarães, com características análogas ao mesmo, como potenciais depósitos culturais (Fig. 5). As imagens resultantes deste estudo serão apresentadas durante o simpósio.

Com respeito da metodologia adotada pode-se dizer que este tipo de abordagem permitiu a observação em uma diversidade de níveis de detalhe, contribuindo para a identificação de feições locais relacionadas aos sítios e a caracterização destes em relação a fisiografia da região. Diga-se que uma vez que exista um acréscimo do nível de modificação antrópica em um local, as técnicas aqui usadas diminuem relativamente em sua capacidade nos estudos de localização de depósitos culturais.

Das técnicas utilizadas para efeito de visualização, a melhor foi filtragem espacial de passa alta, sendo mais eficaz, pois através do refinamento dos atributos espaciais na imagem possibilitou uma simulação de uma excavação não predatória da superfície dos sítios arqueológicos. O método de fatiamento e classificação supervisionada possibilitaram a identificação de feições reconhecidas na interpretação visual como também a classificação automática de outras áreas com o mesmo comportamento espectral e espacial situadas em vertentes com mesmas condições de iluminação solar.

Conclui-se que a aplicação da ferramenta do sensoriamento remoto como auxílio em pesquisas arqueológicas é eficaz, principalmente ao tocante a identificação de feições superficiais relacionadas a distribuição atual dos depósitos culturais e também quanto ao estudo desta antiga área de habitação e sua relação com o contexto do meio ambiente natural dos arredores.

É aqui recomendado uma exploração regional detalhada do rio Paraitinga, acima do Sítio Guimarães, usando dados de sensoriamento remoto e observações terrestres quando possível, para a identificação de mais sítios arqueológicos e o padrão de assentamento da cultura primitiva regional. Será de grande importância cultural também estabelecer uma cronologia absoluta e estratigrafia para o Sítio Guimarães, e assim determinar as culturas que ocuparam este sítio arqueológico.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao grande apoio dado pelo INPE, IAE, TERRAFOTO, e SELPER para o desenvolvimento e conclusão deste estudo.

6. BIBLIOGRAFIA

Almeida, F. 1964 Fundamentos geológicos do relevo paulista. *Boletim nº 41*, IGG, São Paulo.

Chohfi, R. E. 1987a Remote sensing of the Machu Picchu Region, Peru. *Proceedings*, II SELPER Symp., Bogota, in press.

_____ 1987b Maranpampa: Its discovery and significance. *Backdirt Newsletter*,

UCLA Inst. Archaeol., vol. 1, no. 2, p. 1, 4.

Cicivizzo, V.P., T.M. Saussen 1986 Utilização de imagens Landsat/TM, para auxiliar na localização de sítios arqueológicos no Estado de São Paulo. *Proceedings, SELPER Symposium, Gramado*, pp. 579-582.

Crawford, O.G., A. Keiller 1928 *Wessex from the air*.
Oxford: Oxford Univ. Press.

Ebert, J. I., T. R. Lyons 1983 Archaeology, anthropology, and cultural resources management. *Manual of remote sensing*, R. N. Cowell (ed.), ASPRS, Chapter 26, pp. 1233-1305.

Inst. Geogr. Cartogr. (IGC) 1980a *Carta de utilização do uso da terra do Estado de São Paulo: Guaratinguetá (Folha SF-23-Y-B)*.
São Paulo: IGC.

1980b *Carta de utilização do uso da terra do Estado de São Paulo: Volta Redonda-Ilha Grande (Folha SF-23-Z-C)*.
São Paulo: IGC.

1980a *Carta de utilização do uso da terra do Estado de São Paulo: Santos (Folha SF-23-Y-D)*.
São Paulo: IGC.

Köppen, W., R. Geiger 1954 *Klima der erde*.
Darmstadt: Justus Perthes.

Maia, T., T.R.C. Maia 1981 *O folclore das tropas, tropeiros e cargueiros no Vale do Paraíba*.
Rio de Janeiro: Minist. Educ. Cult.

Petri, S. 1979. *Prospecção arqueológica na Fazenda Paraitinga*.
São Paulo: Museo Paulista, USP, unpubl.

Reis, P.P. 1979 *O indígena do Vale do Paraíba*.
São Paulo: Coleção Paulista, vol. XVI.

U.S. Natl. Park Serv. 1977a *Remote sensing experiments in cultural resources studies. Non-destructive methods of archaeological exploration, survey and analysis*.
Albuquerque: Natl. Park Serv.

1977b *Aerial remote sensing techniques in archaeology*.
Albuquerque: Natl. Park Serv.

1977c *Remote sensing: A handbook for archaeologists and cultural resources managers*.
Washington: Natl. Park Serv.

1978a *Remote sensing: Practical exercises on remote sensing in archaeology*.

Washington: Natl. Park Serv.

_____ 1978b *Remote sensing and non-destructive archaeology.*
Washington: Natl. Park Serv.

_____ 1978c *Remote sensing: Instrumentation for non-destructive
exploration in archaeology.*
Washington: Natl. Park Serv.

_____ 1980 *Remote sensing: Aerial anthropological perspectives.
A bibliography of remote sensing in cultural resources studies.*
Washington: Natl. Park Serv.

_____ 1981 *Remote sensing: Aerial and terrestrial photography for
archaeologists.*
Washington: Natl. Park Serv.

QUADRO 1

ESPECIFICAÇÃO DOS PRODUTOS DIGITAIS

	Sítio Guimarães	Sítio Jacareí
Escala	1:45.000	1:25.000
Área	3,4 cm ²	11,5 cm ²
Resolução	60 linhas/mm	9 linhas/mm
Tamanho do Pixel	≈0,033 mm	≈0,1123 mm

QUADRO 2

ESTATÍSTICA DOS PRODUTOS DIGITAIS

Imagem	Pixels	Cinza Médio	Desvio Padrão	Min., Max.
Guimarães	1.049x10 ⁶	70.94	17.62	22, 255
Jacareí	1.049x10 ⁶	58.88	27.29	23, 255

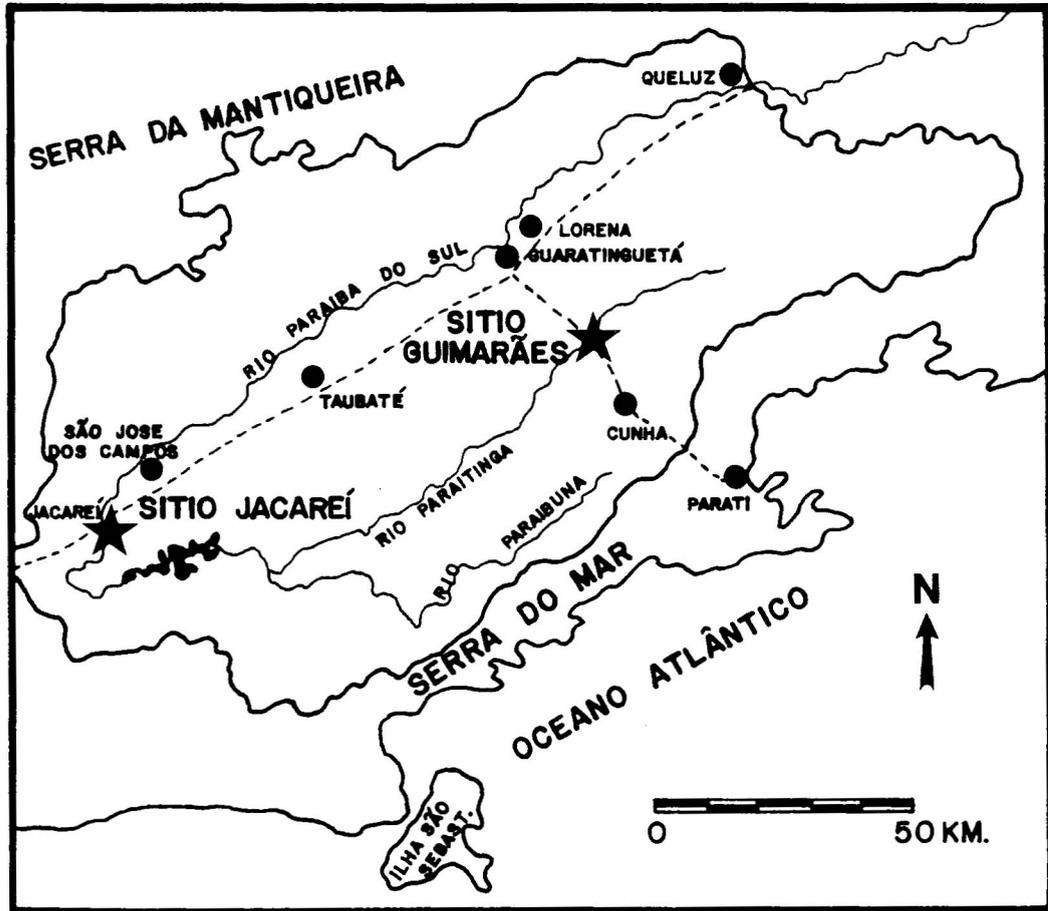


Fig. 3: Região de estudo.

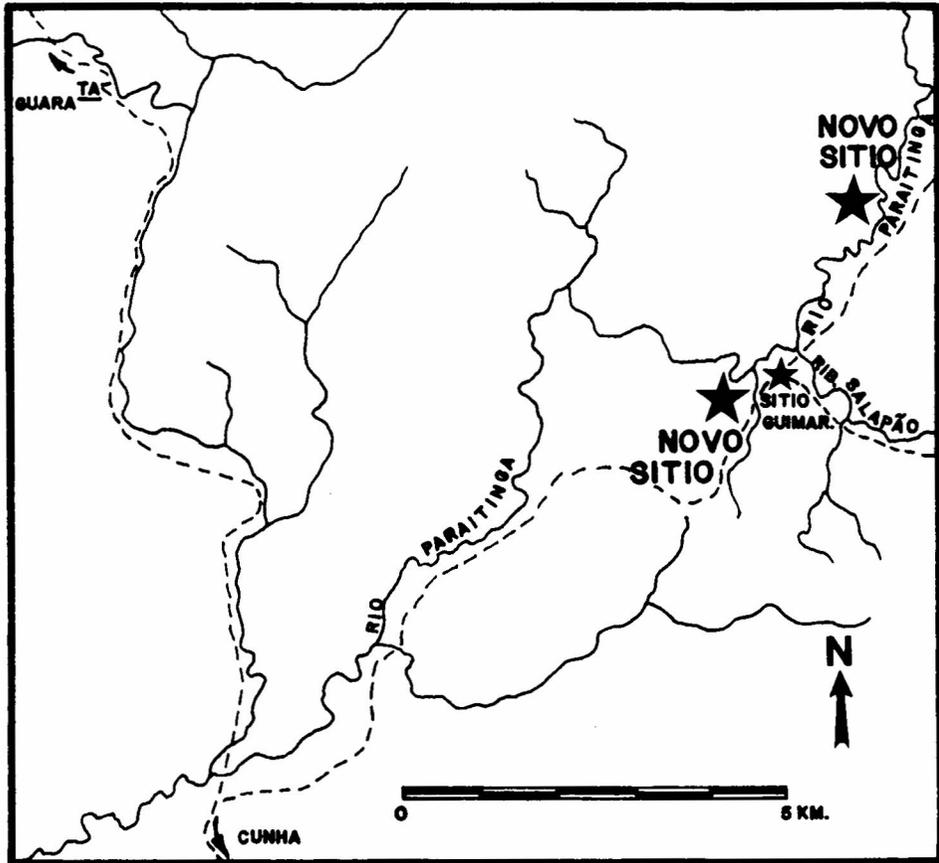


Fig. 4: Novos depósitos arqueológicos na vizinhança do Sítio Guimarães.

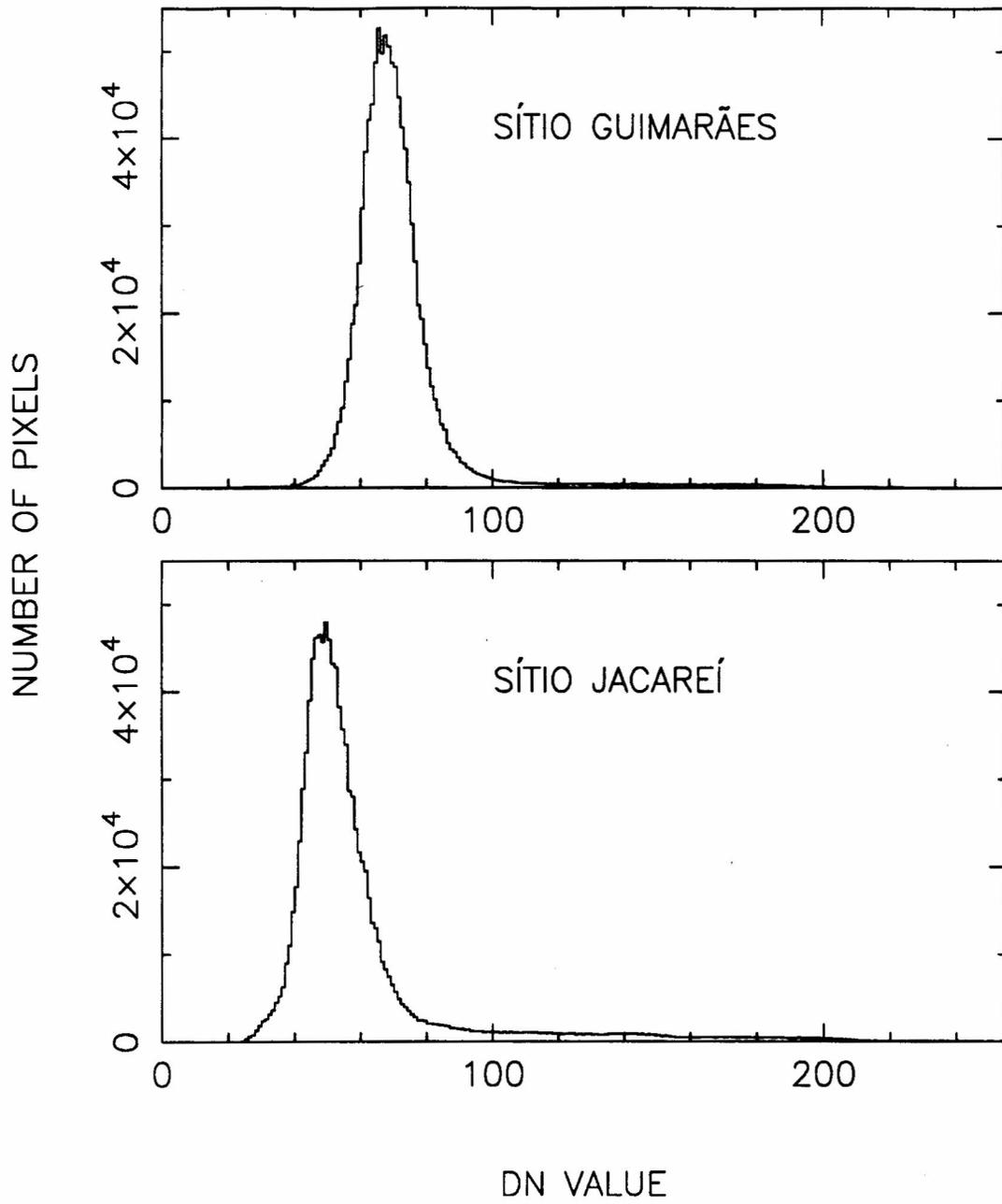


Fig. 5: Histogramas das fotografias aéreas digitais.

