

Dinâmica urbana a partir de dados multitemporais e multisensores: o caso de Havana, Cuba

Rey Gaspar Carral Chao¹
Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida²
Fábio Cardinale Branco³
Rosely Kimie Teruiya⁴
Alexandre Carnier Nunes da Silva⁴
Carlos César de Araújo³
Sérgio Vicente Liotte³

¹Instituto de Geología y Paleontología de Cuba

²DGE - Instituto de Geociências USP

Caixa Postal 11.348, 05422-970 - São Paulo, SP, Brasil

{tirdalme@usp.br}

³Pós-Graduação IG-USP

⁴Graduação IG-USP

Abstract. This work presents data on the urban dynamics of the County of Havana, Cuba. Panchromatic aerial pictures were used (1956), as well as images SPOT XS (1987) and TM-Landsat (1996). It discusses the evolution of the urban fabric and the used methods. The results shows that images of medium space resolution, like SPOT and TM, can quickly generate important results for great cities without a lot of available information.

Keywords: Remote Sensing, urban dynamics, Cuba.

1 Introdução

A República de Cuba experimentou profundas mudanças político-administrativas e sociais nas últimas quatro décadas, com tais ações necessariamente se refletindo na ocupação do solo. Este trabalho apresenta, a partir de dados de sensoriamento remoto de três diferentes datas e sem qualquer pretensão sociológica, a evolução da ocupação urbana na *Província de Habana*, noroeste da República de Cuba (**figura 1**), entre 1956 e 1996. Em 1956 vivia a Capital de Cuba sob regime capitalista, com fortes características de estância turística. Desta data foram utilizadas fotografias aéreas pancromáticas na escala de 1:62.000. Entre esta data e 1987, período aproximadamente coincidente com a mudança de regime e seu auge (1959-1988), é analisada a evolução da ocupação do terreno, comparando-se os dados de 1956 com a interpretação de imagens XS SPOT processadas, de julho de 1987. Finalmente, a imagem TM-Landsat de agosto de 1996 forneceu a informação mais recente, permitindo tanto a abordagem das alterações no

período 1956-1996 como 1987-1996 (período aproximadamente coincidente com o fim da URSS e da instalação da crise que se abateu sobre Cuba).

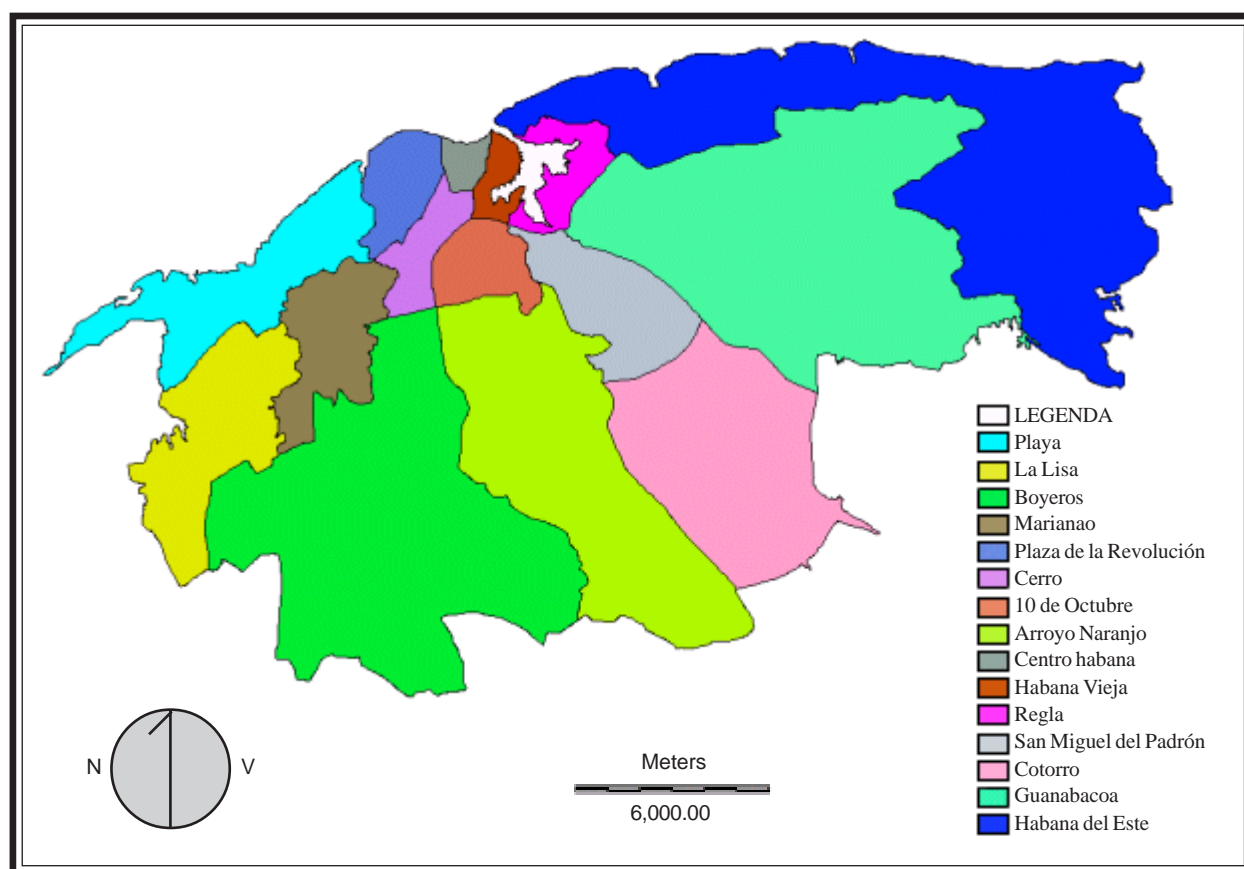


Figura 1 - localização da área de estudo, com os municípios da Província de Havana

A utilização de fotografias aéreas em estudos urbanos é claramente consolidada há décadas, em virtude de sua excelente resolução espacial, que muitos autores consideram imprescindível em estudos deste tipo, como Welch (1982) e Kurkdjian & Li (1989). Outros autores, entretanto, advogam a possibilidade do uso de imagens SPOT XS e TM-Landsat, como Foresti (1988) e Costa e Silva (1993).

As imagens multiespectrais de baixa a média resolução espacial aplicadas a estudos urbanos podem ser abordadas de duas diferentes formas, as quais tem profundas diferenças filosóficas e práticas entre si: no conceito pixel a pixel e no de área. Numa abordagem pixel a pixel, utilizando reconhecimento automático de padrões, a resposta espectral impõe-se. Trabalhando-se com o conceito de área, há predominância de análise cognitiva das imagens processadas (composições coloridas e índices de vegetação), onde o contexto se impõe. Comparados os resultados obtidos por uma e outra técnica, pode-se concluir que esta última é muito mais lenta porém mais precisa. Na interpretação de fotografias aéreas pancromáticas a opção de interpretação por contexto é inevitável, seja pela melhor resolução espacial como pela pobreza da informação espectral presente.

Os resultados obtidos na pesquisa demonstram a aplicabilidade da metodologia e dos produtos multiespectrais em estudos de planejamento, particularmente em grandes centros urbanos com pequeno volume de informações disponíveis.

2 Natureza dos dados e metodologia

Foram utilizadas fotografias aéreas pancromáticas de 1956, na escala 1:62.000 (Aero Service Corporation), bem como imagens XS SPOT de 27 de julho de 1987 e TM-Landsat, de 5 de agosto de 1996, ambas em CD-ROM. Os trabalhos em processamento digital de imagens e sistemas de informação georeferenciada foram feitos no Laboratório de Informática Geológica (LIG) do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, tanto em ambiente DOS (SITIM) como Windows NT (IDRISI e ER-Mapper), em microcomputadores PC 486 e Pentium Pro-200. As impressões foram feitas em Tektronix 4986 DX e Epson Stylus color 800.

Aos produtos de sensoriamento remoto deve-se acrescentar informações de literatura, incluindo as de censo, bem como dados de campo obtidos em dezembro de 1996/janeiro de 1997.

As fotografias aéreas foram interpretadas em estereoscópio de espelho Sokkisha, a partir das características tonais e texturais, bem como pelo contexto das informações. Foram determinadas 7 classes de ocupação do solo, com as classes relativas à ocupação urbana devendo ser entendidas como visualmente comparativas, gradacionais, como se segue: urbano denso (MURB – com alta densidade de prédios), urbano (URB – alta densidade de ocupação urbana e ausência de vegetação), urbano pouco denso (PURB – alternância de ocupação urbana e vegetação), bem como corpos d'água (ÁGUA), vegetação densa (VEG DENSA) e ocupação rural (RURAL). Algumas dificuldades surgiram pela má qualidade das cópias, mormente nas proximidades da linha de costa. A partir da restituição dos vários estereopares foi elaborado um Mapa de Ocupação do Terreno em 1956, posteriormente digitalizado com o auxílio de Mesa Digitalizadora A0 Digigraph do LIG, utilizando-se o programa IDRISI em ambiente Windows.

As imagens SPOT-XS foram processadas inicialmente em SITIM-340 e posteriormente em ER-Mapper 5.2 e 5.5. Os processamentos adotados seguiram essencialmente duas linhas: o reconhecimento automático de padrões, através de classificação por máxima verossimilhança (MaxVer) e o realce das imagens para posterior interpretação cognitiva. Nesta última foram feitas composições coloridas com diferentes realces de contraste por manipulação de histogramas de níveis de cinza e filtragens isotrópicas por convolução (sempre com adição de originais), bem como aplicados índices de vegetação normalizados ou não, antecedidos de correção atmosférica pelo método do pixel escuro de Chavez (1975). A partir, principalmente, das composições coloridas falsa-cor (SPOT3/2/1 em RGB) e dos índices simples de vegetação e com apoio da imagem classificada foi gerado um Mapa de Ocupação do Terreno em 1987, com as mesmas classes descritas acima.

Para as imagens TM-Landsat foram utilizados os mesmos procedimentos, testando-se, pela presença de maior número de bandas espectrais, outras composições coloridas falsa-cor e em cores naturais, tendo a composição TM4/3/2 (RGB), semelhante à adotada para a imagem SPOT, permitido mais fácil e acurada interpretação para a elaboração do Mapa de Ocupação do Terreno em 1996.

Os mapas de Ocupação do Terreno para as três datas foram digitalizados e registrados em ambiente SIG, utilizando o programa IDRISI, às plantas topográficas do local de estudos. Posteriormente foram cruzados, para determinação da evolução das formas de ocupação do terreno. Para este cruzamento foram adotados as seguintes classes: Retrocesso máximo, Retrocesso médio, Estável, Avanço médio e Avanço máximo. Por *Retrocesso* entenda-se aquelas áreas em que a interpretação de produto mais recente indicou uma ocupação humana menos densa que no mais antigo, enquanto por *Avanço*, ao contrário, a interpretação indicou um adensamento da urbanização. O conceito de *máximo* e *mínimo* é definido quando um dado local avançou (ou retrocedeu) pelo menos duas classes das anteriormente definidas (Urbano para Rural ou Urbano pouco denso para Urbano denso, p. ex.). Por *Elementos Suprimidos*, entenda-se aqueles locais em por algum motivo não puderam ser interpretados com segurança, como a faixa próxima à linha de costa nas fotografias aéreas de 1956. Finalmente, por *Elementos Novos* entenda-se como grandes feições de origem antrópica inexistentes no produto mais antigo (neste caso, represas e o Aeroporto Internacional José Martí).

3 Resultados Obtidos e Discussão

O Mapa de Ocupação do Terreno em 1956 apresentou poucos problemas em sua elaboração, exceto em delgadas porções junto à linha de costa, especialmente a leste, pela má qualidade das cópias. Já os mapas referentes aos anos de 1987 e 1996 não abrangem integralmente a área de estudos, com pequenas porções, respectivamente a noroeste e nordeste, ausentes das imagens. Este problema em nada afeta o estudo em 13 dos 15 municípios da província.

Para a elaboração dos Mapas de Ocupação do Terreno de 1987 e 1996 a aplicação da classificação MaxVer foi pouco útil, uma vez que a resposta espectral de diferentes tipos de ocupação assemelhava-se, gerando assim uma carta temática pouco clara e distante da realidade, como confirmado em campo. Esta abordagem pixel a pixel, portanto, foi considerada pouco útil.

A utilização de índices de vegetação, por outro lado, foi bastante intensa, pela correlação existente entre cobertura de vegetação e densidade de ocupação antrópica. Estas imagens serviram essencialmente como apoio à interpretação das composições coloridas falsa-cor, onde o contexto da resposta espectral, auxiliado pelo conhecimento prévio da área e pelo trabalhos de campo, foi o fator determinante. Observe-se que o mapa de 1996, verificado em campo poucos meses após a data de imageamento, mostrou-se fiel à realidade, respeitando-se o grau de detalhe dado pela escala do trabalho, exigindo, assim, poucas modificações no mapa preliminar. Um ponto curioso, de difícil interpretação, foi esclarecido em campo: uma área de plantação de leguminosas apresentava um padrão espectral com alta reflectância na banda TM3 e baixa nas TM2 e intermediária na 4. Discutindo-se com os lavradores locais, verificou-se que à época da obtenção das imagens aquelas leguminosas apresentam coloração vermelha.

Em 1956 a população da cidade de Havana era de 1,4 milhão de habitantes, estando já estruturada como uma grande cidade (Gonzáles, 1993). Observa-se na **figura 2** que a

classe *urbano denso* localiza-se essencialmente nos atuais municípios de Habana Vieja, Centro Habana e 10 de Octubre, locais onde se iniciou a ocupação urbana no século XVI. Já a classe urbano representa principalmente a parte oeste da cidade, onde a ocupação foi consolidada a partir de 1924. Já à época a presença de vegetação densa era pequena.

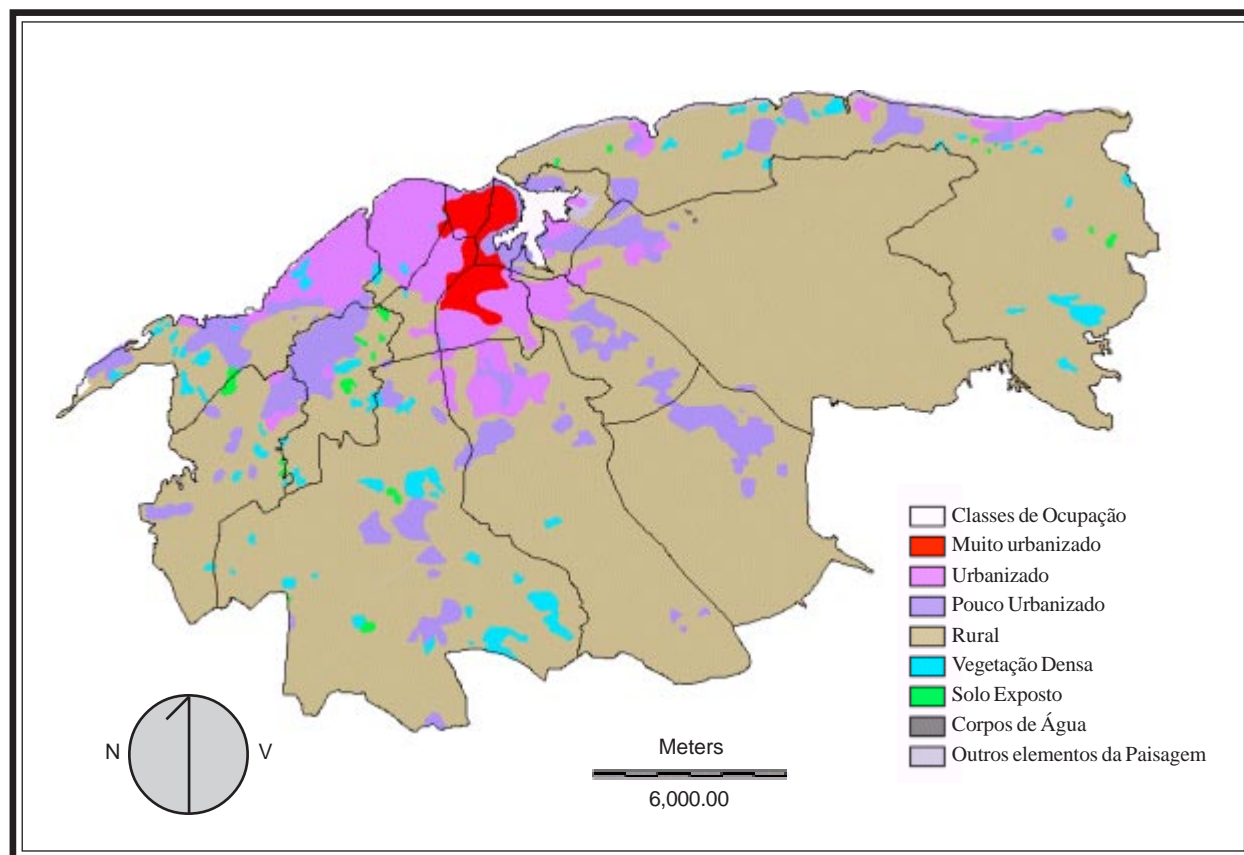


Figura 2- Mapa de ocupação do terreno na Província de Havana em 1956

Em 1987 a população da cidade de Habana estava 2,59 milhões de habitantes, distribuída mais homogeneamente que em 1956 em função do Plano Diretor de 1984, que implanta uma política de crescimento no sentido Leste-Oeste. A este processo seguiu-se um programa de construção de habitações e infra-estrutura escolar e médica denominado “micro-brigadas” (entre 1986 e 1990) em que a população, em regime de mutirão, expandiu a área urbana. Este programa torna complexa a análise dos dados da imagem de 1987, pois o programa, estando em plena atividade, com numerosas construções sendo iniciadas, fornece a impressão de uma ocupação humana muito superior à real: nas obras não havia ainda habitantes, como dados de censo indicam. Já no Mapa de Ocupação do Terreno em 1996 (**figura 3**), onde fica claro a expansão ocorrida em relação a 1956, este problema é atenuado, pois muitas das construções estavam concluídas. Este processo, entretanto, ocorreu principalmente até 1990/1991, pois, com a crise econômica que se instala no país a partir de 1990, a atividade de construção civil arrefece consideravelmente, fazendo persistir parte da informação equivocada. Os dados de censo (habitante/local) são muitas vezes pouco comparáveis com os de sensoriamento remoto (resposta espectral de área/local).

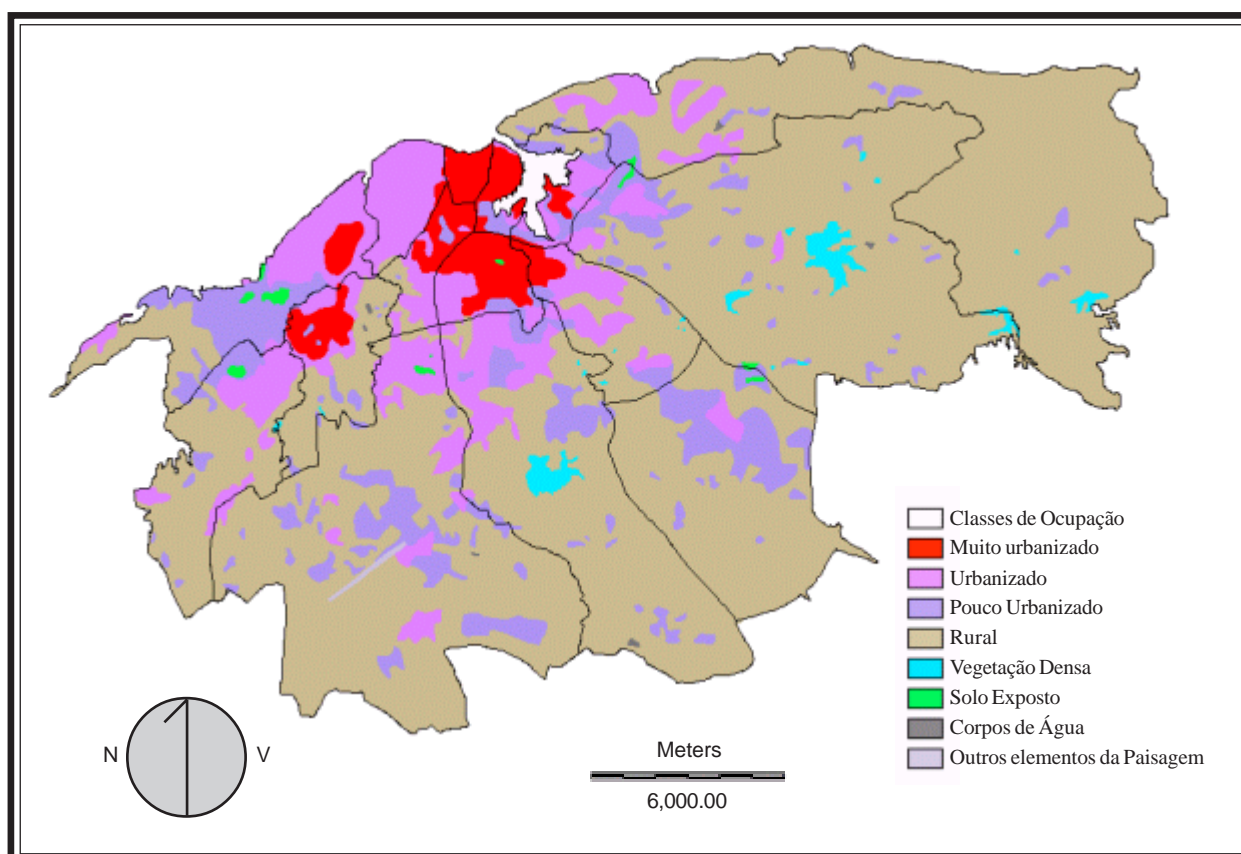


Figura 3 - Mapa de Ocupação do Terreno na Província de Havana em 1996

Em termos numéricos, este processo pode ser observado no Tabela 1, onde estão apresentadas em área as classes consideradas mais relevantes: as três categorias de ocupação urbana, áreas rurais e vegetação densa.

ANO	Urbano denso	Urbano	Urbano pouco denso	Rur al	Vegetação densa
1956	10,94	50,54	57,96	582,41	15,06
1987	15,61	36,32	126,09	532,74	4,40
1996	28,91	91,93	78,04	515,80	2,00

Tabela 1 - Evolução da ocupação urbana nos anos de 1956, 1987 e 1996 na Província de Habana e da área de vegetação densa em km².

Os dados da tabela acima permitem, de imediato, fazer algumas observações. O processo de adensamento urbano se intensifica fortemente a partir de 1987, com a classe urbano passando a predominar. Da mesma forma, a área densamente ocupada (caracterizada por menor albedo) cresce em nove anos quase o triplo que nos trinta anos anteriores. A área ocupada pela atividade rural decresce lenta e continuamente, com certa aceleração nos últimos anos. Já a área ocupada por vegetação densa, originalmente matas, decresceu para menos de 1/7 da área ocupada em 1956 e, se o ritmo continuar inalterado, desaparecerá por completo

desaparecerá por completo em poucos anos. A Tabela 1 mostra problemas nas classes urbano e urbano pouco denso, que, nas imagens de 1987, apresentam confusão. A melhor resolução espacial das imagens SPOT possivelmente tenha salientado pixels com vegetação, que passaram despercebidos nas imagens TM.

Em uma abordagem por município, o comportamento é variado. Há municípios, como Guanabacoa, em que houve pouca expressiva alteração na área urbanizada bem como da população (dados de censo da Oficina Territorial de Estadísticas, 1996), enquanto outros, como Boyero, experimentaram importante crescimento tanto na porcentagem do terreno urbanizado como em população. A comparação entre dados de censo e de sensoriamento remoto, entretanto, com frequência mostram resultados díspares. Parte destes pode ser explicada: a ocupação física do terreno se inicia com as obras, quando o terreno aparenta ocupação mas não há moradores, como os casos de Playa, Marianao e Regla.

Durante o processo de urbanização pode ocorrer mesmo uma inversão de expectativas quanto a dados de sensoriamento remoto, pois com a efetiva instalação de novos bairros, mormente em sociedades planejadas, há regeneração de áreas como praças, arborização de ruas e jardins etc. Assim, do ponto de vista espectral, durante o processo de construção a aparência da imagem será a de área mais densamente ocupada do que virá a realmente ser.

Outro aspecto a ser considerado é a presença de edifícios baixos, com três ou quatro pavimentos, como muitas das construções feitas no programa de micro-brigadas. Locais com alta densidade de edifícios de muitos andares são captados em imagens orbitais pelo menor albedo que a eles se associa: nas inevitáveis sombras não há reflectâncias, com poucos andares, as construções fornecerão suave atenuação no albedo, sugerindo, em imagens como as SPOT e TM-Landsat, a inexistência de ocupação vertical. Desta forma estudos feitos a partir de dados de sensoriamento remoto devem ter em conta tais limitações, que, entretanto, não ocorrerão em fotografias aéreas de baixa altitude. Neste caso podem estar os municípios de La Lisa, Cotorro e Arroyo Naranjo.

Finalmente, outros municípios, como Habana del Este, Boyeros e San Miguel, apresentaram elevado crescimento tanto em área (nas imagens) como em população, enquanto os de Centro Habana e Habana Vieja apresentaram pequena variação em ambos. Em resumo, numa análise crítica da qualidade dos resultados, pode-se, à primeira vista, considerar pouco útil a abordagem da dinâmica urbana através dos métodos e imagens utilizados. Mas este estudo, considerando-se a ausência de informações mais detalhadas, permite uma visualização do comportamento geral da ocupação urbana da Província a custos baixos e com rapidez, o que seria impossível sem as informações orbitais.

O cruzamento dos Mapas de Ocupação do Terreno de 1956 e 1996, apresentado na **figura 4**, permite visualizar os principais vetores de crescimento. Assim, os três principais vetores se dão nas direções W, SSW e SE, aos quais deve-se acrescentar um quarto a Leste. O vetor *Oeste* representa uma continuação da ocupação programada iniciada na década de 1920. O *Sudeste* deu-se por influência da Rodovia Central, que imprimiu maior urbanização nos municípios de San Miguel del Padrón e Cotorro. O

Sudoeste deu-se principalmente em torno do aeroporto Internacional José Martí, que catalisou a urbanização do município de Boyeros, o qual também sofreu um processo de industrialização. Já o vetor *Leste* é o mais recente e o que atualmente ocorre com maior rapidez e deve-se à beleza de suas praias, que induziu não só ao crescimento da indústria do turismo como de moradias perenes, como demonstra o importante crescimento demográfico recente no município de Habana del Este.

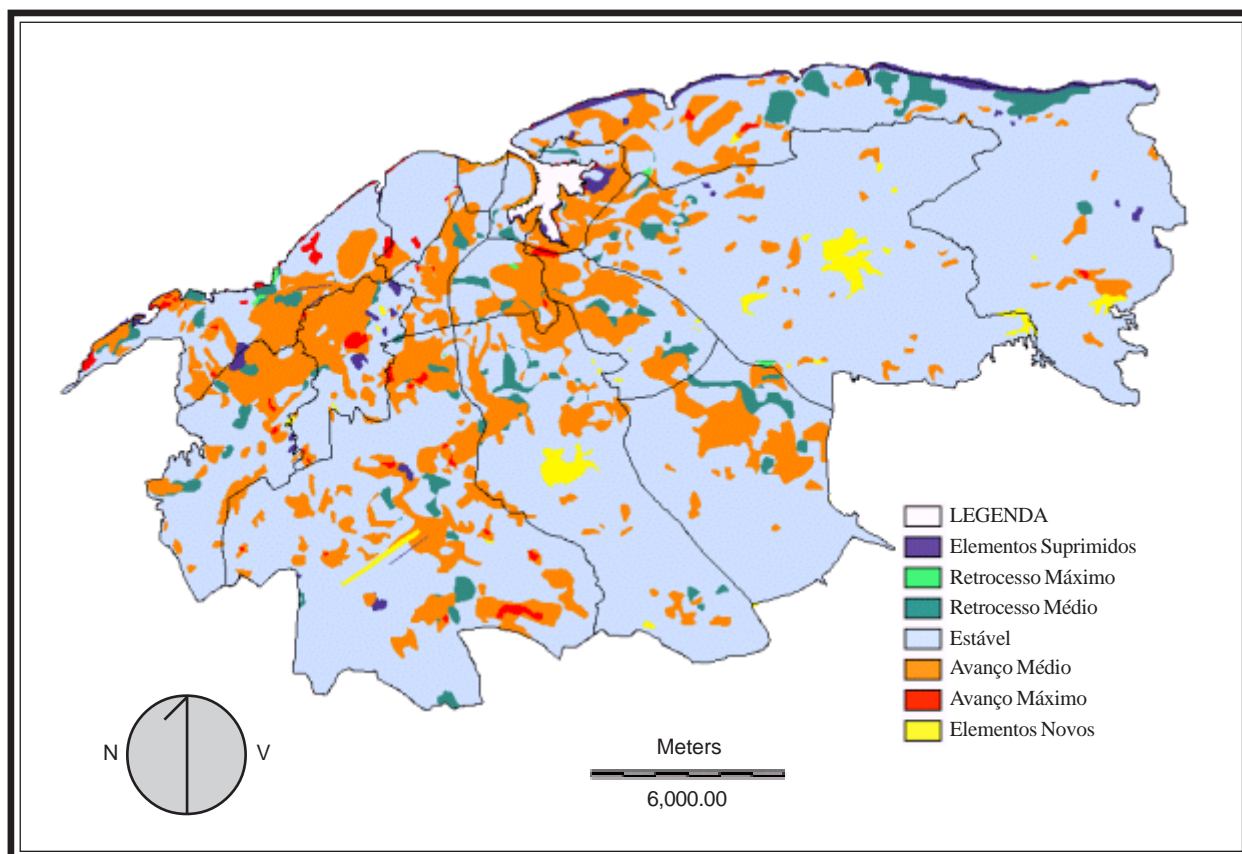


Figura 4 - Dinâmica da ocupação do terreno da Província de Havana de 1956 a 1996

4 Bibliografia

CHAVEZ, L. Atmospheric, solar and MTF corrections of ERTS digital imagery. **Proceedings of American Society of Photogrammetry Fall Convention**, Phoenix , EUA, 69-69a

COSTA, S.M.F.da; SILVA, E.A.da. Urbanização da área metropolitana de Belo Horizonte. O monitoramento do crescimento urbano através do SIG/INPE. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7. Curitiba, 1993. **Anais**. São José dos Campos, INPE. v.1, p. 41-46.

FORESTI, C. Impacto ambiental da expansão urbana no setor oeste da área metropolitana de São Paulo: análise através de dados e técnicas de sensoriamento remoto. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 5, Natal, 1988, **Anais**, INPE, v.1, p.124-130.

- GONZÁLES, M. Planos, esquemas y planes directores de la Ciudad de La Habana. Arquitectura y Urbanismo. **Revista Científica del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. La Habana**, n.2, p.9-22.
- KURKDJIAN, M.L.O.N.; LI, S.S. Integração de imagem SPOT multiespectral e aerofoto pancromática para estudo do uso do solo urbano. In SIMPOSIO LATINO AMERICANO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 4. Bariloche, 1989. **Memorias**. São José dos Campos, INPE, t.1, p.414-422.
- OFICINA TERRITORIAL DE ESTADÍSTICAS. DEPARTAMENTO DE DEMOGRAFIA. **Informe preliminar del censo de barrios y focos insalubre: año 1996**. Cuba, 1996, 43p. (Relatório Interno).
- WELCH, R. Spatial resolution requirement for urban studies. **International Journal of Remote Sensing**, 1982, v.3, n.2, p.139-146.