Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Evolução espaço-temporal da drenagem superficial e do processo de impermeabilização em Santo Amaro, Recife-PE

Tiago Henrique de Oliveira¹; José Eleno da Silva¹; Marcelo Olimpio dos Santos²; Josemary Santos e Silva Oliveira³, Josicléda Domiciano Galvínio⁴

¹ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – UFPE. Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, Recife / PE - CEP: 50670-901. E-mail: thdoliveira50@gmail.com (autor correspondente); jeleno@terra.com.br. ² Gerente de Informações Socioeconômicas do Instituto da Cidade Pelópidas Silveira-ICPS. Av. Cais do Apolo, 925, Bairro do Recife, Recife / PE - CEP: 50030-903. E-mail: marcelo.olimpio@recife.pe.gov.br; ³ Mestre em Geografia pelo Programa de Pós-graduação em Geografia – UFPE. Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, Recife - PE - CEP: 50670-901. E-mail: josy.santos04@gmail.com; ⁴ Professora Doutora do Departamento de Ciências Geográficas – UFPE. Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, Recife - PE - CEP: 50670-901. E-mail: josicleda@hotmail.com

Artigo recebido em 09/11/2015 e aceito em 24/12/2015

RESUMO

O espaço urbano é objeto de constantes modificações e produção do espaço, sendo a vida na cidade definida pelas relações econômicas, sociais e culturais, que se apresentam altamente dinâmicas e mutáveis com o passar das décadas. Torna-se importante o planejamento do espaço urbano, visando a prevenção de impactos negativos, em parte pela rápida expansão desordenada das cidades e adensamento urbano. O objetivo desta pesquisa é analisar a distribuição da rede de drenagem superficial do bairro de Santo Amaro ao longo dos séculos e verificar espacialmente, a partir dos dados históricos do Censo IBGE, algumas informações relativas à drenagem e esgotamento. Para tal foram utilizados mapas históricos da cidade de Recife, fotografias aéreas dos anos de 1974, 1981 e 1997, e ortofotocarta da cidade do Recife de 2007 e 2014. Todas estas foram georreferenciadas e registradas. Também foram utilizadas imagens do sensor TM do satélite Landsat 5 onde foram calculados o Albedo da superfície e o EVI. Foram tabulados e espacializados os dados do CENSO IBGE. Foi observado a diminuição de áreas vegetadas no interior dos lotes e aumento da impermeabilização em grande parte do bairro, o que influencia significativamente no escoamento superficial.

Palavras-chave: mudanças de uso do solo, alagamentos, sensoriamento remoto.

Time-space evolution of surface drainage and waterproofing process in Santo Amaro, Recife-PE

ABSTRACT

Urban space is subject to constant changes and production space, with city life defined by economic, social and cultural, that have highly dynamic and changing over the decades. It is important to the Urban Planning, with a view to preventing negative impacts, in part by the rapid sprawl of cities and urban density. The objective of this research is to analyze the distribution network of surface drainage of the Santo Amaro neighborhood for centuries and check spatially, from historical IBGE Census data, some information relating to drainage and sewage. To do this they used historical maps of the city of Recife, aerial photographs of the years 1974, 1981 and 1997 and 2007 Recife city ortofotocarta and 2014. All these were georeferenced and recorded. They were also used satellite images Landsat TM sensor 5 which were calculated the albedo of the surface and the EVI. They were tabulated and spatially the IBGE Census data. It was observed a decrease in vegetated areas inside the lots and increased waterproofing in much of the neighborhood, which significantly influences the runoff.

Keywords: land use change, flooding, remote sensing.

Introdução

O espaço urbano é objeto de constantes modificações e reprodução, sendo a vida na cidade definida pelas relações econômicas, sociais e culturais, que se apresentam altamente dinâmicas e mutáveis com o passar das décadas. Torna-se importante o planejamento do espaço urbano,

visando à prevenção de impactos negativos, em parte pela rápida expansão desordenada das cidades e adensamento urbano (Berman, 1982).

Na tentativa de disponibilizar novas áreas urbanas na área central do município, diversas

áreas consideradas inadequadas à ocupação humana foram historicamente sendo aterradas.

Em alguns casos a rápida substituição de áreas verdes para áreas impermeabilizadas acaba por influenciar o surgimento ou agravamento de diversos fenômenos, como o aumento no número de enchentes ou alagamentos, bem como na recorrência de ilhas de calor urbana em diversas cidades brasileiras (Shams et al., 2009; Oliveira et al., 2013) e do mundo (Weng et al., 2004; Chen et al., 2006; Weng e Quattrochi, 2006; Klok et al., 2012).

O sistema de saneamento básico contemplado pela drenagem, coleta e tratamento dos resíduos (sólidos e esgoto) e o abastecimento de água, contribuem para a melhoria da qualidade ambiental e da vida humana, principalmente, nas áreas urbanas. A ausência desses serviços provoca impactos negativos em função do nível de contaminação encontrados em cursos d'água que alimenta o sistema de rede de abastecimento de água potável pelo não recolhimento de resíduos, tanto os sólidos como os de esgoto, bem como, pela insuficiência de uma drenagem adequada ao escoamento das águas pluviais. Conforme aborda (Silva, 2014) a drenagem urbana é um dos grandes problemas ambientais das nossas cidades.

Deste modo como tentativa de minimizar os efeitos locais das cheias e alagamentos, por muito tempo, as ações da engenharia fluvial e hidráulica operaram no sentido de retificar os cursos d'água visando transmitir o mais rápido as vazões a jusante (Marques e Junior, 2014). Isto pode ser verificado no canal Derby-Tacaruna onde os constantes alagamentos e inundações prejudicavam a população, levando a construção do canal e instalação e utilização de comportas para evitar as inundações em períodos de maré alta.

Atualmente grande parte da área mais urbanizada do município está localizada sobre a [...] “planície aluvial flúvio-marinha, alagadas e drenadas durante os períodos de transgressões e regressões marinhas ocorridas no Quaternário” (Lins, 1982). Livro publicado por Castro (1964, p. 168) cita a influencia do homem na construção do Recife:

“O homem foi o último elemento a entrar em cena naquele contínuo trabalho de estruturação do solo do Recife, agindo através dos aterros e das drenagens, no sentido de dar àquele solo a consistência, o declive, a forma e a extensão mais apropriadas à sua ocupação humana, ao seu aproveitamento como base natural de um complexo organismo urbano” (CASTRO, 1964, p. 168).

Deste modo em virtude do terreno ser extremamente plano o escoamento das águas torna-se difícil. A rede de drenagem em Recife ocupa Oliveira, T.H., Silva, J.E., Santos, M.O., Oliveira, J.S.S., Galvêncio, J.D.

10% e as áreas alagáveis chegavam a 21% do território municipal no início da década 90 (URB/PCR, 2000).

Estudos como os realizados por Whitford et al. (2001), Nowak et al. (2002) e Pauleit et al. (2005) indicam a necessidade de realização de pesquisas com parâmetros ambientais importantes, referentes ao uso do solo em ambiente urbano, como a temperatura da superfície, o escoamento das águas pluviais e o sequestro de carbono. Segundo Pauleit et al. (2005), estes elementos são diretamente afetados pelas características da cobertura do solo, como a densidade de construções e distribuição de áreas verdes no espaço urbano, que, na maioria dos casos, apresentam-se bastante fragmentados.

Torna importante a organização e disponibilização de imagens multitemporais nas mais variadas escalas e resoluções visando o acompanhamento de processos que ocorrem em áreas urbanas. A utilização de técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento tem se tornado essencial para a identificação de processos de degradação ambiental em áreas urbanas assim como no acompanhamento de mudanças de padrão de uso e ocupação do solo, vindo a auxiliar no planejamento de áreas urbanas e na mitigação de problemas originados da rápida expansão urbana.

Visando o melhoramento na identificação da densidade, Huete et al. (1997) propôs o Índice de Vegetação Ajustado (EVI) minimizando os efeitos da resposta espectral do solo e da influência atmosférica, assim como também apresenta alta sensibilidade as variações fenológicas. Cartas de Albedo da superfície tem sido utilizadas visando à identificação de processos de mudança de uso e ocupação do solo, apresentando sensibilidade na diferenciação de materiais (Robinson et al., 1981; Oliveira et al., 2010). Já Zha et al. (2003) propuseram e utilizaram um índice voltado à identificação e análise de áreas impermeabilizadas e construídas, sendo utilizadas em diversas pesquisas (Chen et al., 2006; Zhang et al., 2009; Lee et al., 2011).

O objetivo desta pesquisa é analisar as transformações ocorridas na distribuição da rede de drenagem superficial, das áreas vegetadas e das áreas construídas do bairro de Santo Amaro utilizando mapas históricos, fotografias aéreas e aplicando os índices EVI, Albedo da superfície e NDBI em imagens do satélite Landsat, assim como os dados históricos de algumas informações relativas à drenagem e esgotamento do Censo IBGE.

Material e métodos

Para cumprir os objetivos desta pesquisa foi realizado levantamento bibliográfico de pesquisas realizadas com a temática assim como a organização de banco de dados georreferenciados contendo dados censitário do IBGE dos anos de 1991, 2000 e 2010, mapas históricos, fotografias aéreas, ortofotocarta e imagens TM do satélite Landsat com metodologia descrita a seguir.

Área de estudo

O bairro de Santo Amaro, Figura 1, limita-se ao norte, com o bairro de Campo Grande e o município de Olinda; ao sul, com os bairros de Santo Antônio, Boa Vista e Soledade; a leste, com o bairro do Recife e, a oeste é delimitado pelo Canal Derby-Tacaruna, fazendo limites com os bairros de Torreão e Espinheiro. Os solos são predominantemente, constituídos por aterros sucessivos nas áreas alagadas e nos antigos

manguezais. O bairro faz parte da bacia hidrográfica do rio Capibaribe e com rede de esgoto ligado ao sub-sistema Cabanga.

Territorialmente é o maior bairro do Centro Expandido do Recife e ocupa a 13ª posição em toda cidade. Esta área é predominantemente plana, com 10,86% de ZEIS. Sua posição em número de habitantes é a 20ª, com uma densidade demográfica de 73,52 hab/ha e apresentou uma queda de -0,42 na taxa média geométrica de crescimento entre 2000 e 2010.

Este bairro apresenta uma grande concentração de atividade de serviços para o município como médico hospitalar, parque gráfico, localização de centrais de redes de televisão e rádio, shopping center, call center e rede de ensino superior, médio e profissionalizante.

Figura 1. Localização do bairro de Santo Amaro, Recife – PE. Organizado pelos autores.

Mapas Históricos, Fotografias Aéreas e Base Georreferenciada da PCR - Na constituição desta pesquisa foi utilizado material cartográfico histórico, em meio digital, que contemplava a distribuição da rede hidrográfica, contendo os rios e as cacimbas distribuídas no bairro de Santo Amaro, Recife.

Foram utilizados o Mapa da cidade Maurícia (atual cidade de Recife/PE) de 1639 e o mapa de Recife

na primeira metade do século 17. Estes mapas serviriam de base para a visualização das áreas alagadas e dos rios nos respectivos períodos sendo georreferenciados e organizados no mapa de evolução histórica da drenagem do bairro.

Também foram organizadas e georreferenciadas fotografias aéreas dos anos de 1974, 1981 e 1997, obtidas junto à mapoteca da Agência CONDEPE/Fidem. Ao total foram

utilizadas 25 fotografias aéreas verticais Pancromáticas P&B, sendo nove com sobrevoo realizado em maio de 1974 (faixas 40, 41 e 42), nove com sobrevoo no ano de 1981 (faixas 40, 41 e 42), e mais sete com sobrevoo realizado em junho de 1997 (faixas 21, 22A e 23), compatíveis com a escala 1:6.000.

O georreferenciamento e registro das fotografias foram feitos tomando por base a ortofotocarta Recife do ano de 2013/2014 com o Sistema de Projeção SIRGAS 2000, fuso 25 Sul, e resolução espacial de 0,08m disponibilizado pela Prefeitura da Cidade do Recife. As fotografias aéreas georreferenciadas e as ortofotocartas dos anos de 2007 e 2013/2014 foram utilizadas para a vetorização das áreas verdes permeáveis. Também foi utilizado o Modelo Digital de Elevação do ano 2007 onde é possível visualizar as áreas mais baixas do bairro e comparar com os Pontos Críticos de Alagamentos mapeados pela EMLURB.

Dados Radiométricos - Foram selecionadas quatro imagens do sensor Thematic Mapper (TM), de órbita e pontos 214/66, a bordo do satélite Landsat 5, obtidas junto à Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). As datas de passagem do satélite na área de estudo ocorreram em 28 de setembro de 1989, 4 de agosto de 1991, 8 de setembro de 2005 e 25 de setembro de 2011. Todas as cenas do Landsat foram registradas e ortorretificadas, tomando por base a imagem disponibilizada pelo site www Landsat.org, de onde, posteriormente, foi realizado o recorte da imagem para a área de estudo e seu entorno, visando uma melhor visualização da dinâmica espacial ocorrida no local.

Processamento das imagens - Para obtenção da Radiância, Reflectância e Albedo da superfície foi utilizada a metodologia proposta por Allen et al. (2002), amplamente utilizada por diversos autores (Bastiaanssen et al., 1998ab; Silva et al., 2005; Giongo, 2008; Oliveira et al., 2010), conforme pode ser observado através do fluxograma (Figura 2).

Calibração radiométrica - A calibração radiométrica (Eq. 1) consiste na conversão do nível de cinza de cada pixel e banda, em radiância monocromática, que representa a energia solar refletida, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medida ao nível do satélite nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. Para a banda termal, essa radiância representa a radiação emitida por cada pixel, sendo empregada na obtenção da temperatura da superfície. A radiância de cada

pixel e banda foi obtida pela equação proposta por Markham e Baker (1987):

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND \quad (1)$$

onde a e b são as radiâncias espectrais mínima e máxima ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$), ND é a intensidade do pixel (valor inteiro entre 0 e 255) e i corresponde às bandas (1, 2, ... e 7) dos satélites Landsat 5. Os coeficientes de calibração utilizados para as imagens TM são os propostos por Chander e Markham (2003).

Figura 2. Fluxograma mostrando as etapas para a obtenção do Albedo da superfície do solo. Organizado pelos autores.

Reflectância - A reflectância (Eq. 2) de cada banda ($\rho_{\lambda i}$) é definida como a razão entre o fluxo de radiação solar refletido pela superfície e o fluxo de radiação solar global incidente, a qual é obtida através da equação (Allen et al., 2002):

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda i}}{K_{\lambda i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (2)$$

Em que $L_{\lambda i}$ é a radiância espectral de cada banda, $K_{\lambda i}$ é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($Wm^{-2}\mu m^{-1}$), Z é o ângulo zenital solar e d_r é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (r_0) e a distância Terra-Sol (r) em dado dia do ano (DSA).

Índice de Vegetação Melhorado (EVI) - O Índice de Vegetação Melhorado (Enhanced Vegetation Index) pode ser obtido através da aplicação da equação (Eq. 3) proposta por Huete et al. (1997):

$$EVI = G \left(\frac{\rho_{NIR} - \rho_V}{\rho_{NIR} + C_1 \cdot \rho_V - C_2 \cdot \rho_A + L} \right) \quad (3)$$

Em que ρ_{NIR} é a reflectância no infravermelho próximo, ρ_V é a reflectância no vermelho, ρ_A é a reflectância no azul, C_1 é o coeficiente de correção dos efeitos atmosféricos para o vermelho (6,0), C_2 é o coeficiente de correção dos efeitos atmosféricos para o azul (7,5), L é o fator de correção para a interferência do solo (1,0) e G é o fator de ganho (2,5).

Índice de Construção por Diferença Normalizada (NDBI) - O NDBI (Normalized Difference Built-up Index) é um índice radiométrico, desenvolvido por Zha et al. (2003), visando identificar áreas urbanas e áreas construídas, tendo como base o

incremento de resposta espectral das áreas construídas entre as bandas do infravermelho próximo e infravermelho médio (Eq. 4).

$$NDBI = \frac{\rho_{IVm} - \rho_{IVp}}{\rho_{IVm} + \rho_{IVp}} \quad (4)$$

Em que ρ_{IVm} e ρ_{IVp} correspondem, respectivamente, às bandas 5 e 4 do Landsat 5 – TM.

Albedo planetário (α_{toa}) - O albedo não corrigido (Eq. 5) é obtido através da combinação linear das reflectâncias monocromáticas, qual seja:

$$\alpha_{toa} = 0,293\rho_1 + 0,274\rho_2 + 0,233\rho_3 + 0,157\rho_4 + 0,033\rho_5 + 0,011\rho_7 \quad (5)$$

Em que $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4, \rho_5$ e ρ_7 são os albedos planetários das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7.

Transmissividade atmosférica - Em condições de céu claro, a transmissividade atmosférica (Eq. 6) pode ser obtida como proposta por Allen et al. (2002):

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2 \cdot 10^{-5} Z \quad (6)$$

Em que Z corresponde a altitude média da área ou a altitude de cada pixel (m). Como a área apresenta uma grande variação de altitude, foi necessário recorrer à utilização de um Modelo Digital de Elevação (MDT) elaborado através de dados de radar SRTM.

Albedo da superfície (α) - O albedo na superfície (Eq. 7) é o albedo corrigido quanto aos efeitos da influência atmosférica:

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw}^2} \quad (7)$$

Em que α_p é a reflectividade da atmosfera, variando entre 0,025 e 0,04. Estudo realizado por Bastiaanssen (2000) afirma que o valor mais recomendado para o SEBAL seja o de 0,03. τ_{sw} é a transmissividade atmosférica, obtida para condições de céu claro, em função da altitude de cada pixel, por equação proposta por Allen et al. (2002).

Dados Censitários - Através de acesso ao servidor ftp do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) foram obtidos os dados censitários dos anos de 1991, 2000 e 2010. Os dados foram tabulados e inseridos nos setores censitários do bairro de Santo Amaro. Foram especializados e verificados os setores com maiores problemas de infraestrutura utilizando as informações disponíveis na tabela de Resultados do Universo sobre a quantidade de Domicílios Particulares

Permanentes (DPP), DPP com abastecimento de água da rede geral, DPP com banheiro ou sanitário e esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial, DPP com banheiro ou sanitário e esgotamento sanitário via rio, lago ou mar e informações de Coleta de lixo. Porém este levantamento do CENSO é realizado através da declaração do morador, o que pode ser desconexo com a realidade.

Resultados e discussão

Através da figura 3 é possível observar a grande mudança ocorrida entre os últimos quatro séculos no bairro de Santo Amaro. Nota-se que em 1640 mais da metade do que viria a ser o bairro é ocupado por rio ou por áreas alagadas. Já na primeira metade do século 17 é possível observar a expansão do sítio histórico do bairro de Recife para o bairro de Santo Amaro. Nota-se como algumas quadras já se encontram planejadas e com a distribuição espacial de empreendimentos públicos como o Cemitério Público e o hospital de Santo Amaro. Deste modo podemos observar que parte do bairro passou por processo de aterro.

A construção da Avenida Agamenon Magalhães através de aterro ao antigo braço da maré que comunicava os rios Beberibe e Capibaribe e a construção e retificação no canal Derby-Tacaruna proporcionaram novas áreas de ocupação. A área outrora denominada de Camboa do Tacaruna no século 17 se encontra aterrado e parcialmente ocupado pela população mais carente no ano de 1974 com o canal de drenagem diminuindo espacialmente, encontrando-se na atualidade estrangulado e parcialmente coberto na atualidade no interior da ZEIS Santo Amaro.

Esta área passava por processos de inundações periódicas em período de maré alta se apresentando como uma área imprópria a ocupação humana. Ruas como a do Sossego, Coelho Leite, Artur Coutinho e Avenidas Mario Melo e Prefeito Arthur Lima Cavalcanti também se apresentava anteriormente como áreas parcialmente alagadas.

Como afirmado Carvalho (2004) fica evidente que as intervenções na rede de drenagem visavam à ampliação da disponibilidade de áreas secas, não se fundamentando na visão sistêmica da rede de drenagem promovendo intervenções localizadas, apresentando a água como um obstáculo ao desenvolvimento da cidade.

Na atualidade algumas dessas áreas apresentam pontos críticos de alagamento segundo a Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana (EMLURB), Figura 4. e apontados por Carvalho (2004).

Figura 3. Evolução espaço-temporal da rede de drenagem superficial do bairro de Santo Amaro. Organizado pelos autores.

Figura 4. Modelo Digital de Terreno (m) do Bairro de Santo Amaro e distribuição dos Pontos Críticos de Alagamentos (2014) mapeados pela EMLURB. Organizado pelos autores.

Visualizando o mapa de mudanças de uso e ocupação do solo, Figura 5, é possível observar a diminuição espaço-temporal de áreas verdes e áreas permeáveis em parte do bairro de Santo Amaro.

Oliveira, T.H., Silva, J.E., Santos, M.O., Oliveira, J.S.S., Galvêncio, J.D.

Nota-se que as áreas verdes distribuídas no interior das quadras, destinadas como quintais, no ano de 1974 e 1981 foram diminuindo espacialmente e sendo ocupadas por outras edificações.

Deste modo nos anos de 2007 e 2010 é observado que grande parte das áreas verdes disponíveis estão distribuídas ao longo de logradouros públicos e no cemitério de Santo Amaro. Com isto, áreas que propiciavam a infiltração de parte da água, em momentos de precipitação passaram a ser áreas

impermeabilizadas o que provoca aumento do escoamento superficial, sobrecarrega a drenagem nas vias e causa acumulação e consequentemente alagamentos nas áreas com cotas altimétricas mais baixas, como no caso de parte da Avenida Cruz Cabugá, Figura 6 e na Avenida Norte Governador Miguel Arraes de Alencar, Figura 7.

Figura 5. Evolução espaço-temporal da cobertura vegetal do bairro de Santo Amaro, Recife - PE. Organizado pelos autores.

O alagamento se constitui em um problema que afeta o deslocamento da população para determinadas localidades, Figuras 8, 9, 10 e 11 assim como pode aumentar a proliferação de vetores transmissores de doenças. Esta alteração do

ciclo hidrológico natural em virtude da impermeabilização de grandes áreas na superfície diminui a infiltração da água no solo e consequentemente a recarga natural do lençol freático.

Figura 6. Alagamento na Avenida Cruz Cabugá, Santo Amaro (Fonte: O Povo com a notícia/22-04-2014).

Figura 7. Alagamento Avenida Governador Agamenon Magalhães (Fonte: Futura Press/ Folhapress/19-12-2013).

Figura 8. Alagamento na Avenida Cruz Cabugá, em frente ao Colégio Sizenando Oliveira, Santo Amaro (Fonte: Arthur Mota/Folha de Pernambuco/22-04-2014).

Figura 9. Alagamento na Avenida Norte Gov. Miguel Arraes de Alencar, em frente ao SENAI, Santo Amaro. (Foto: Reprodução G1 / WhatsApp / 25-06-2015).

Figura 10. Alagamento na Avenida Conde da Boa Vista, Bairro da Boa Vista (Foto: Mariana Gominho / DP / D.A.Press / 29-04-2013).

Figura 11. Baratas subindo em colunas devido a alagamento na Av. Conde da Boa Vista, Boa Vista (Foto: Mariana Gominho / DP / D.A.Press / 29-04-2013).

Através do gráfico da Figura 12 é possível observar a diminuição temporal da cobertura vegetal de uma parte do bairro de Santo Amaro e para as imagens utilizadas na figura 5. Observa-se que no geral a cobertura vegetal e áreas permeáveis diminuíram pela metade quando comparado entre

1974 e 2014, passando de 160.000m² para 80.000m².

A diminuição foi maior nos lotes privados, como pode ser observado no gráfico, onde 2/3 da cobertura vegetal passou a ter outro uso. Já os logradouros e lotes com equipamentos públicos

apresentaram uma maior preservação de cobertura vegetal, com diminuição de um pouco mais de 15.000m².

A área da ZEIS Santo Amaro que apresentava em 1974 um pouco mais de 5.000m²

passou a apresentar um pouco mais de 1.300m² de cobertura vegetal. A diminuição em área de ZEIS se deve ao padrão construtivo nesta área que apresentam muitas edificações próximas uma das outras sem áreas verdes.

Figura 12. Evolução temporal da cobertura vegetal de uma parte do bairro de Santo Amaro, Recife - PE para os anos de 1974, 1981, 1997, 2007 e 2014. Organizado pelos autores.

Já nas Figuras 13 e 14 é possível observar a porcentagem de distribuição da cobertura para os lotes privados, áreas públicas e na ZEIS para os anos de 1974 e 2014 onde é observada a diminuição da cobertura vegetal na classe de lotes privados de 55% para 34%. Autores como Wallace e Mcjannet (2008) afirmam que estudos sobre o papel da

cobertura vegetal através da interceptação da chuva são vitais para o gerenciamento de áreas sujeitas a alagamentos, bem como para a prevenção de potenciais problemas causados por mudanças climáticas, como alteração do comportamento das chuvas diárias.

Figura 13. Distribuição da cobertura vegetal no ano de 1974 para os lotes privados, áreas públicas e ZEIS em parte do bairro de Santo Amaro, Recife – PE. Organizado pelos autores.

Figura 14. Distribuição da cobertura vegetal no ano de 2014 para os lotes privados, áreas públicas e ZEIS em parte do bairro de Santo Amaro, Recife – PE. Organizado pelos autores.

A cobertura vegetal amortece a chegada da chuva ao solo, promovendo a infiltração e diminuindo o excesso de escoamento superficial sendo mais eficientes em chuvas moderadas do que em chuvas torrenciais.

Segundo Nicodemo (2009) [...] folhas, galhos superficiais e casca das árvores interceptam e armazenam por algum tempo água das chuvas,

reduzindo o escoamento superficial e atrasando o início do pico de enchente. Pesquisas realizadas pela CUFR (2002) estimaram que uma árvore de médio porte pode interceptar em média 12.000 L de água de chuva por ano.

Através da Figura 15 é possível visualizar a evolução espaço-temporal do Índice de Vegetação Ajustado (EVI), do Albedo da

Superfície e do NDBI no bairro de Santo Amaro nas últimas duas décadas, sendo perceptível maior discriminação dos diferentes alvos que compõem o ambiente urbano devido as diferentes interações

entre os mesmos e os diferentes comprimentos de ondas radiação eletromagnética, tornando mais fácil a sua caracterização assim como a realização de comparações temporais.

Figura 15. Evolução espaço-temporal dos valores de EVI, Albedo da Superfície e NDBI do bairro de Santo Amaro. Região “A”: Cemitério de Santo Amaro. Região “B”: Limite utilizado para análise de cobertura vegetal. Região “C”: ZEIS Santo Amaro. Organizado pelos autores.

Oliveira, T.H., Silva, J.E., Santos, M.O., Oliveira, J.S.S., Galvêncio, J.D.

Fica evidente a diminuição na quantidade de vegetação densa entre os anos de 1989 e 2011, que apresenta valores de EVI superiores a 0,50, como pode ser observado na região do cemitério Público de Santo Amaro, região “A” e na área da Vila Naval, no canto superior direito das imagens.

Na região atualmente ocupada de ZEIS Santo Amaro, em parte na região “B e C” na figura 15, apresenta diminuição espacial de valores associados à vegetação corroborando com os dados obtidos através da vetorização de fotografias aéreas na figura 5.

Isto também é observado nas cenas de Albedo da superfície onde as áreas vegetadas e corpos hídricos apresentam valores de albedo inferiores a 0,10.

Nota-se que parte da ZEIS Santo Amaro, região “C”, ainda apresentava valores de albedo baixo em parte da sua superfície, porém a partir da cena de 1998 nota-se aumento no albedo o que evidencia aumento de áreas impermeabilizadas e no número de edificações. Já na imagem de 2005 é possível visualizar uma mudança nos valores de EVI e Albedo da superfície em grande parte do bairro quando comparado com as imagens dos anos anteriores.

Nota-se aumento espacial de áreas com valores de EVI inferiores a 0,20 e Albedo da superfície superiores a 0,20. Com isto visualizando a imagem de 2011 é observado a concentração de vegetação principalmente em áreas públicas como parques e margens de rios. Já as áreas com ausência de vegetação apresentam aumento espacial, principalmente na parte sul do bairro, evidenciando o aumento da impermeabilização nas últimas décadas.

Ainda na Figura 15 é possível observar as mudanças de padrão de uso e ocupação do solo através do Índice de Construção por Diferença Normalizada (NDBI). É observado o aumento espacial de áreas impermeabilizadas ou construídas em todo o bairro, apresentando valores de NDBI superiores a 0,13. As regiões que apresentam valores de albedo da superfície superiores a 0,25, apresentam valores de NDBI superiores a 0,19 e de EVI inferiores a 0,20, vindo a se torna em algumas áreas mais homogêneas.

Já as áreas que apresentam uma maior distribuição espacial de vegetação e corpos

hídricos apresentam valores de NDBI inferiores a 0,06, como as áreas próximas a Universidade Católica (UNICAP) e a Companhia Energética de Pernambuco (CELPE) que apresentam ruas como a dos Palmares, Rua Afonso Pena, Rua Manoel Pereira e as avenidas Visconde de Suassuna e João de Barros bem arborizadas.

Já algumas edificações como, por exemplo, o Shopping Tacaruna e a empresa Contax, apresentam valores de Albedo da superfície e NDBI superiores a 0,30 atualmente, sendo possível observar o reflexo da implantação e ampliação com estas imagens.

As figuras 16, 17, 18 e 19 apresentam os perfis gráficos do EVI, do Albedo da superfície e do NDBI de dois transectos lineares traçados na imagem de 28 de setembro de 1989 e de 25 de setembro de 2011. O primeiro transecto corresponde à área entre a ZEIS Santo Amaro e a Vila Naval. Já o segundo transecto corresponde à área entre a Av. João de Barros e a Av. Norte Governador Miguel Arraes de Alencar. Ambos os transectos podem ser observados sob a imagem de EVI de setembro de 2011 na figura 15.

Observando o transecto linear 1 para a imagem de 28 de setembro de 1989 e 25 de setembro de 2011, Figuras 16 e 17, nota-se a diminuição nos valores de EVI entre a Av. Norte e a Av. Cruz Cabugá. Já os valores de albedo da superfície e de NDBI aumentaram para o mesmo trecho, o que demonstra a diminuição da cobertura vegetal e aumento de construções e impermeabilização para a escala da imagem.

O EVI que apresentava picos de valores superiores ou próximos a 0,4 neste trecho para a imagem de 1989, passou a apresentar picos próximos de 0,20. Já a área que compreende a ZEIS Santo Amaro apresentou um aumento nos valores de NDBI e Albedo da superfície.

Já para o transecto linear 2 para a imagem de 28 de setembro de 1989 e 25 de setembro de 2011, Figuras 18 e 19, é possível observar que os valores de EVI para a área do Cemitério Público de Santo Amaro diminui, enquanto que os valores de albedo da superfície e NDBI aumentam. O mesmo acontece para a área entre a Av. Cruz Cabugá e Av. Norte, o que demonstra o aumento na quantidade de construções na área como, por exemplo, a edificação da empresa Contax.

Figura 16. Representação do Transecto linear 1 para a imagem de 28 de setembro de 1989 do EVI, Albedo da superfície e NDBI.

Figura 17. Representação do Transecto linear 1 para a imagem de 25 de setembro de 2011 do EVI, Albedo da superfície e NDBI.

Figura 18. Representação do Transecto linear 2 para a imagem de 28 de setembro de 1989 do EVI, Albedo da superfície e NDBI.

Figura 19. Representação do Transecto linear 2 para a imagem de 25 de setembro de 2011 do EVI, Albedo da superfície e NDBI.

Através da Figura 20 é possível visualizar a distribuição espacial de domicílios particulares permanentes (DPP), DPP ligadas à rede geral de abastecimento de água, DPP com banheiros e esgotos ligados a rede geral de esgoto ou pluvial e DPP com banheiro, com sanitário e esgotamento via rio, lago ou mar para o bairro de Santo Amaro nos Censo realizados no ano 2000 e 2010. Setores localizados na parte sudeste do bairro apresentam

os menores valores de domicílios ligados à rede geral de abastecimento apresentando no mínimo 30% dos DPP sem ligação a rede, apesar das melhorias em alguns setores entre 2000 e 2010.

Já os setores localizados a sudoeste do bairro e alguns setores da ZEIS Santo Amaro apresentam-se como as áreas mais críticas do bairro para a informação de DPP com esgotamento depositados em rio, lago ou mar.

Estas áreas apresentaram aumento no número de DPP entre 2000 e 2010, passando de 0,3% para 1,1 a 8,6% dos domicílios. A área da ZEIS Santo Amaro apresentou melhoria na informação de banheiros e esgotamento sanitário ligados a rede geral de esgoto ou pluvial entre 2000 e 2010.

Ainda assim é possível observar, através da Figura 21, que o bairro apresentou avanços na universalização de serviços como água encanada e instalação sanitária nas últimas décadas, passando respectivamente de 68 para 99% e de 80 para 99%.

Figura 20. Distribuição espacial de informações censitárias dos anos 2000 e 2010 dos domicílios particulares permanentes (DPP) do bairro de Santo Amaro (Fonte: IBGE, Censo Demográfico). Organizado pelos autores.

Figura 21. Percentual de pessoas que vivem em DPP com água encanada, instalação sanitária e coleta de lixo para os anos de 1991, 2000 e 2010 no bairro de Santo Amaro, Recife - PE (Fonte: IBGE, Censo Demográfico). Organizado pelos autores.

Devido a metodologia estabelecida pelo IBGE para a formação de setores censitários é importante informar que em alguns casos, como pode ser observado mais facilmente na ZEIS Santo Amaro, ocorre a subdivisão de setores.

Tendo em vista os problemas levantados por esta pesquisa é importante a iniciativa da Prefeitura da Cidade do Recife de aprovar projeto de Lei nº 18.112/2015 que dispõe sobre a melhoria da qualidade ambiental das edificações por meio da obrigatoriedade de instalação do telhado verde, e construção de reservatórios de acúmulo ou de retardo do escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem.

Deste modo a implantação obrigatória de Reservatório de Águas Pluviais deverá ser realizado em lotes com área superior a 500 m², edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 25% da área total do lote, o que pode apresentar um grande impacto no bairro. A obrigatoriedade de implantação se dá quando realizado reforma em edificação existente ou quando apresentado projeto inicial para construção.

Para a lei os reservatórios de águas pluviais podem ser:

I - Reservatórios de Acumulação, destinados ao acúmulo de águas pluviais para reaproveitamento com fins não potáveis, com captação exclusiva dos telhados;

II - Reservatórios de Retardo, destinados ao acúmulo de águas pluviais para posterior descarga na rede pública, captadas de telhados, coberturas, terraços, estacionamentos, pátios, entre outros.

Ao total o bairro apresenta 3497 lotes oficiais, dos quais 313 apresentam área superior a 500 m², quantidade de pavimentos inferior a dois e não são equipamentos públicos. Deste 30 são classificados na base cartográfica da Prefeitura da Cidade do Recife como galpão e 40 classificados como terrenos. Porém ainda existe um grande potencial no bairro devido a disposição de alguns lotes com

área inferior a 500m² em uma mesma quadra facilitando ao remembramento de lotes quando necessário ao empreendedor.

Conclusões

Foi observado a diminuição de áreas vegetadas no interior dos lotes e aumento da impermeabilização em grande parte do bairro, o que influencia significativamente, no escoamento superficial e alagamento em algumas áreas.

É recomendado a manutenção das áreas verdes e permeáveis existentes em áreas públicas, como praças e parques, canteiros centrais e logradouros assim como a melhor distribuição espacial de áreas vegetadas nas regiões que apresentam maior quantidade de impermeabilização, o que pode contribuir com a diminuição de alagamentos em períodos de maior precipitação e mitigar a ocorrência ou agravamento de ilhas de calor em períodos de temperaturas mais elevadas.

Algumas das áreas identificadas como pontos críticos de alagamento estão localizadas em regiões aterradas ao longo dos últimos séculos, como no caso da Avenida Cruz Cabugá.

Os setores localizados na região sudoeste do bairro de Santo Amaro apresentam as maiores deficiências com relação a esgotamento sanitário.

É necessária que administração pública municipal adote medidas corretivas e preventivas visando à minimização e o controle dos impactos provocados pela impermeabilização de grandes áreas assim como a realização de estudos visando identificar a quantidade de água interceptada pela vegetação nos logradouros públicos.

Agradecimentos

Ao Museu da Cidade do Recife pelos mapas históricos fornecidos em meio digital. A Prefeitura da Cidade do Recife pelas ortofotocartas do ano de 2007 e 2013/2014. A mapoteca da CONDEPE/FIDEM pelas fotografias aéreas em

formato digital. Ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) pela disponibilização dos dados do CENSO 1991, 2000 e 2010.

Referências

- Allen, R.G., Tasumi, M., Trezza, R., 2002. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land) - Advance Training and User's Manual – Idaho Implementation, version 1.0. Disponível: ftp://ftp.funceme.br/Cospar_Funceme_2010/C_LASS_DAY_04.11.2010/LAB/quixere/quixere_Final%20Sebal%20Manual.pdf. Acesso: 11 dez. 2010.
- Bastiaanssen, W.G.M., Menenti, M., Feddes, R.A., Holtslag, A.A.M.A., 1998a. Remote sensing Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) 1.Formulation. *Journal of Hydrology* [online] 212-213. Disponível: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169498002534>. Acesso: 20 abr. 2008. DOI:10.1016/S0022-1694(98)00253-4.
- Bastiaanssen, W.G.M., Pelgrum, H., Wang, J., Moreno, Y.M.J., Roerink, G.J., Van Der Wal, T., 1998b. The Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) 2.Validation. *Journal of Hydrology* [online] 212-213. Disponível: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169498002546>. Acesso: 20 abr. 2008. DOI: 10.1016/S0022-1694(98)00254-6.
- Bastiaanssen, W.G.M., 2000. SEBAL - Based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. *Journal of Hydrology* [online] 229. Disponível: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169499002024>. Acesso: 7 jul. 2009. DOI:10.1016/S0022-1694(99)00202-4.
- Berman, M., 1982. All that is Solid Melts into Air: the experience of modernity. Simon and Schuster, New York.
- Carvalho, L.E.P., 2004. Os descaminhos das águas no Recife: os canais, os moradores e a gestão. Dissertação (Mestrado). Recife, UFPE.
- Castro, J., 1964. Ensaios de Geografia Humana. Editora Brasiliense, São Paulo.
- Chander, G., Markham, B., 2003. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* [online] 41. Disponível: <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/pdfs/L5TMLUTIEEE2003.pdf>. Acesso: 14 fev. 2008.
- Chen, X., Zhao, H., Li, P., Yin, Z., 2006. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment* [online] 104. Disponível: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425706001787>. Acesso: 19 fev. 2010. DOI: 10.1016/j.rse.2005.11.016.
- CUFR. Center for Urban Forest Research, 2002. Fact sheet 4: control stormwater runoff with trees. Pacific Southwest Research Station.
- URB/Recife. Empresa de Urbanização e Obras do Recife, 2002. Cadastro de Canais do Recife. Empresas de Obras Públicas da Cidade do Recife. Recife.
- Giongo, P.R., 2008. Estimativa do balanço de radiação com técnicas de sensoriamento remoto e dados de superfície. Dissertação (Mestrado). Recife, UFPE.
- Huete, A.R., Liu, H.Q., Batchily, K., Van Leeuwen, W., 1997. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment* [online] 59. Disponível: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425796001125>. Acesso: 9 ago. 2008. DOI:10.1016/S0034-4257(96)00112-5.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Censo Demográficos dos anos de 1991, 2000 e 2010. Disponível: http://downloads.ibge.gov.br/downloads_estatisticas.htm. Acesso: 5 maio 2015.
- Klok L., Zwart, S., Verhagen, H., Mauri E., 2012. The surface heat island of Rotterdam and its relationship with urban surface characteristics. *Resources, Conservation and Recycling* [online] 64. Disponível: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344912000110>. Acesso: 9 jun. 2015. DOI:10.1016/j.resconrec.2012.01.009.
- Lins, R.C., 1982. Alguns aspectos originais do sítio urbano do Recife, in: Andrade, M.C.de (Org.), *Geografia do Nordeste*. União Geográfica Internacional, Recife, pp. 81–85.
- Markham, B.L., Barker, L.L., 1987. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. *International Journal of Remote Sensing* [online] 8. Disponível: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431168708948658#.VaPYjvmkGkw>. Acesso: 24 jun. 2008. DOI: 10.1080/01431168708948658.
- Marques, C.P.M., Junior, A.P.M., 2014. Artificialização de cursos d'água urbanos e transferência de passivos ambientais entre territórios municipais: reflexões a partir do caso do Ribeirão Arrudas, Região Metropolitana de Belo Horizonte – MG. *Geografias* [online] 10. Disponível: <http://www.igc.ufmg.br/portaldeperiodicos/ind>

- ex.php/geografias/article/view/620/487.
Acesso: 18 jun. 2015.
- Nicodemo, M.L.F., 2009. Por que manter árvores na área urbana? Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos. (Documentos, 89).
- Nowak, D.J., Crane, D.E., Stevens, J.C., Ibarra, M., 2002. Brooklyn's Urban Forest. General Technical Report NE-290. Radnor, Pennsylvania. Disponível: http://www.fs.fed.us/ne/newtown_square/publications/technical_reports/pdfs/2002/gtrne290.pdf. Acesso: 14 fev. 2015.
- Oliveira, T.H., Machado, C.C.C., Silva, J.S., Galvêncio, J.D., Pimentel, R.M.M., Silva, B.B., 2010. Índice de umidade (NDWI) e análise espaço-temporal do albedo da superfície da bacia hidrográfica do rio Moxotó-PE. Revista Brasileira de Geografia Física [online] 3. Disponível: <http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/viewArticle/130>. Acesso: 1 dez. 2010.
- Oliveira, T.H., Galvêncio, J.D., Pimentel, R.M.M., Silva, B.B., 2013. Uso e cobertura do solo e seus efeitos na distribuição da temperatura de superfície em área urbana. Revista Brasileira de Geografia Física [online] 6. Disponível: www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/view/698. Acesso: 1 mar. 2015.
- Pauleit, S., Ennos, R., Golding, Y., 2005. Modeling the environmental impacts of urban land use and land cover change - a study in Merseyside, UK. Landscape and Urban Planning [online] 71. Disponível: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204604000830>. Acesso: 1 set. 2009. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2004.03.009.
- Robinove, C.J., Chavez, P.S., Gehring, D., Holmgren, R., 1981. Arid land monitoring using Landsat albedo difference images. Remote Sensing of Environment [online] 11. Disponível: http://www.researchgate.net/Publication/223468233_Arid_land_monitoring_using_LANDSAT_albedo_difference_images. Acesso: 1 fev. 2013. DOI: 10.1016/0034-4257(81)90014-6.
- Shams, J.C.A., Giacomeli, D.C., Sucomine, N.M., 2009. Emprego da arborização na melhoria do conforto térmico nos espaços livres públicos. REVSBAU [online] 4. Disponível: http://www.revsbau.esalq.usp.br/artigos_cientificos/artigo71.pdf. Acesso: 29 abr. 2011.
- Silva, B.B., Lopes, G.M., Azevedo, P.V., 2005. Determinação do albedo de áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 – TM. Revista Brasileira de Agrometeorologia [online] 13. Disponível: http://www.dca.ufcg.edu.br/DCA_download/ISR/UFPE/Artigo%20002-004%20-%20Determina%E7%E3o%20Albedo.pdf. Acesso: 12 set. 2008.
- Wallace, J., Mcjannet, D., 2008. Modelling interception in coastal and montane rainforests in northern Queensland, Australia. Journal of Hydrology [online] 348. Disponível: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169407006105>. Acesso: 15 ago. 2012. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2007.10.019.
- Weng, Q., Lu, D., Schubring, J., 2004. Estimation of land surface temperature – vegetation abundance relationship for urban heat island studies. Remote Sensing of Environment [online] 89. Disponível: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425703003390>. Acesso: 15 jun. 2009. DOI: 10.1016/j.rse.2003.11.005.
- Weng, Q., Quattrochi, D.A., 2006. Thermal remote sensing of urban areas: An introduction to the special issue. Remote Sensing of Environment [online] 104. Disponível: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425706001763>. Acesso: 15 jun. 2009. DOI: 10.1016/j.rse.2006.05.002.
- Whitford, V., Ennos, A.R., Handley, J., 2001. City form and natural process—indicators for the ecological performance of urban areas. and their application to Merseyside, UK. Landscape Urban Plann [online] 57. Disponível: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016920460100192X>. Acesso: 20 jun. 2010. DOI: 10.1016/S0169-2046(01)00192-X.
- Zha, Y., Gao, J., Ni, S., 2003. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. International Journal of Remote Sensing [online] 24. Disponível: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431160304987>. Acesso: 20 jun. 2010. DOI: 10.1080/01431160304987.
- Zhang, Y., Odeh, I.O., Han, C., 2009. Bi-temporal characterization of land surface temperature in relation to impervious surface area, NDVI and NDBI, using a sub-pixel image analysis. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation [online] 11. Disponível: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030324340900021X>. Acesso: 15 jun. 2010. DOI: 10.1016/j.jag.2009.03.001.