

Mapping as instrument to support public authorities in risk analysis and promotion of climate justice

Tiago H. de Oliveira*, Leta V. de Sousa**, Marina J. dos S. Lopes***, Marcelo O. dos Santos****, Aurélio L. de M. e Silva Junior*****, Luiz G. Pinto*****

* Dr. em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Gestor de Unidade de Geoprocessamento da SELIC-SEPUL/PCR. Recife-PE, Brasil. E-mail: thdoliveira50@gmail.com

** Especialista em Gestão de Negócios Sustentáveis e em Cooperação internacional, Coordenadora de Baixo Carbono e Resiliência do ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade. São Paulo-SP, Brasil. E-mail: leta.vieira@iclei.org

*** Pós-graduanda em Cidades, Planejamento Urbano e Participação Popular, Analista de Baixo Carbono e Resiliência do ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade. E-mail: marina.jslopes@gmail.com

**** Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Gerente de Monitoramento Urbano do ICPS - SEPUL/PCR. E-mail: marcelo.olimpio@recife.pe.gov.br

***** Engenheiro Cartógrafo, Analista de Desenvolvimento Urbano da SEPUL/PCR. E-mail: aureliomelo@recife.pe.gov.br

***** Engenheiro Ambiental, Analista de Baixo Carbono e Resiliência do ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, R. E-mail: luizgustavo.pinto@iclei.org

Received 5 October 2021; accepted 18 November 2021

Abstract

Urbanization is one of the most powerful anthropogenic causes of Earth change. The report by the Intergovernmental Panel on Climate Change claims that human influence on the warming of the soil, ocean and atmosphere is unequivocal. People who are socially, economically, culturally, politically, institutionally or otherwise marginalized are especially vulnerable to climate change and also to adaptation and mitigation responses. Climate injustice refers to the fact that groups in a greater situation of vulnerability present challenges that accumulate as a result of less political power and great social inequality and, therefore, are disproportionately harmed by the impacts of climate change. Thus, this article seeks to address, from indices such as the NDBI, NDVI and census data from the IBGE Census, for the year 2010 and data from the analysis of Climate Risks and Vulnerabilities in Recife, the climate (in)justice in the city of Recife. For this purpose, 3 images from the TM sensor and one from the OLI sensor aboard the Landsat satellites were used. Results show that NDBI values above 0.21 were extended to various areas of the city of Recife over the years, while the NDVI showed a decrease in vegetation cover, indicating greater soil sealing and construction of buildings. These results, in accordance with the mapping of vulnerabilities to climate change, corroborate that a public policy focused on reducing climate injustices is essential, especially when it is concluded that the areas with the greatest social vulnerability are those with the greatest climate vulnerability.

Keywords: Land Use and Land cover change, NDBI, NDVI, LANDSAT, Climate justice.

Mapeamento como instrumentos de apoio ao poder público nas análises risco e promoção da justiça climática

Resumo

A urbanização é uma das mais poderosas causas antropogênicas de mudanças na Terra. O relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima afirma ser inequívoca a influência humana no aquecimento do solo, oceano e atmosfera. As pessoas que são marginalizadas socialmente, economicamente, culturalmente, politicamente, institucionalmente ou de outra forma, estão especialmente vulneráveis às alterações climáticas e, também, a respostas de adaptação e mitigação. Injustiça climática refere-se ao fato de que grupos em maior situação de vulnerabilidade apresentam desafios que se acumulam em virtude de menor poder político e grande desigualdade social e, por isto, são desproporcionalmente prejudicados pelos impactos da mudança do clima. Assim, este artigo busca abordar, a partir de índices como o NDBI, NDVI e dados censitários do Censo IBGE, do ano de 2010 e de dados da análise de Riscos e Vulnerabilidades Climáticas do Recife a (in)justiça climática na cidade do Recife. Para tal, foram utilizadas 3 imagens do sensor TM e uma do sensor OLI a bordo dos satélites Landsat. Resultados mostram que os valores de NDBI superiores a 0,21 foi ampliado para várias áreas da cidade do Recife com o passar dos anos, enquanto no NDVI foi observado diminuição de cobertura vegetal, indicando maior impermeabilização do solo e construção de edificações. Esses resultados, em conformidade com o mapeamento das vulnerabilidades à mudança do

clima, corroboram que uma política pública focada na diminuição das injustiças climáticas é fundamental, especialmente quando se conclui que são as áreas com maior vulnerabilidade social as que apresentam grande vulnerabilidade climática. Palavras-chave: Mudanças de uso e mudanças de cobertura, NDBI, NDVI, LANDSAT, justiça climática.

1. Introdução

O mais recente relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima afirma ser inequívoca a influência humana no aquecimento do solo, oceano e atmosfera (IPCC, 2021). Pesquisadores do Painel apontam que, pelo menos durante os últimos dois mil anos, não houve nenhum outro momento em que o aquecimento da temperatura de superfície superou o que experienciamos a nível global nos últimos 50 anos (1970-2020).

O relatório ainda aponta que o aquecimento continuará aumentando até, pelo menos, a metade do século, excedendo as previsões e expectativas de aumento médio de 1,5 a 2 °C do Acordo de Paris, a não ser que a redução de emissões sofra drásticas reduções nas próximas décadas (IPCC, 2021).

Com o aumento da temperatura média do planeta, aumenta também a frequência de eventos extremos, como, por exemplo, ondas de calor, precipitações intensas e secas em diversas partes do mundo (Xu et al., 2006; Cotton e Pielke, 2007; Aragão et al., 2008; Kishtawal et al., 2009; Shang et al., 2011; Oliveira et al., 2013; Marengo e Alves, 2016; Santos et al., 2017; Nunes et al., 2018; Di Giulio, 2019).

Em 2000, a partir do entendimento de que o ser humano é capaz de mudar irreversivelmente o planeta, o Prêmio Nobel de Química Paul Crutzen e o liminologista Eugene Stoermer cunharam o termo “Antropoceno”, que - apesar de não ser consenso nas geociências e de receber críticas acerca do foco dado ao ser humano, e não no modo de produção capitalista - tem ganhado cada vez mais destaque na Academia em razão da consolidação da mudança climática nos últimos anos. Além disso, a utilização do termo “Capitaloceno” (Carvalho et al., 2021), dando o destaque do modo de produção capitalista como raiz do problema.

Independente da terminologia utilizada para designar a época em que vivemos, é consenso na comunidade científica que o desequilíbrio climático se iniciou após a Revolução Industrial, a partir da utilização massiva de combustíveis fósseis para a produção de bens de consumo, ocasionando o aumento da concentração de gases de efeito estufa a nível global, levando assim ao aumento da temperatura média do planeta.

Embora os impactos da mudança do clima estejam presentes em todo o globo, inclusive em áreas até então inabitadas, é necessário pontuar que estes não são distribuídos igualmente. Algumas

regiões do planeta vão sofrer o efeito da mudança do clima a partir do aumento de precipitações, outras pelo aumento das secas, outras pelo aumento do nível do mar, etc (Klein et al., 2009; Santos et al., 2017; IPCC, 2021). Os eventos extremos de temperatura que ocorriam uma vez a cada 50 anos entre 1850 e 1900 podem passar a ocorrer 39,2 vezes em um cenário de aumento de 4°C de temperatura média global (IPCC, 2021).

A maneira como cada impacto se apresenta em um determinado território depende de suas características geofísicas, ambientais, entre outras. No contexto nacional, as cidades brasileiras, que concentram mais de 80% da população, são apresentadas como foco de atenção ao enfrentamento às mudanças climáticas tendo em vista serem as áreas mais suscetíveis aos impactos (Nobre et al., 2010; Di Giulio et al., 2019).

Estima-se que, atualmente, 56% da população mundial vive em áreas urbanas, e projeções internacionais calculam que essa porcentagem pode chegar a 68% até 2050 (UN, 2018). Os principais motivadores deste fenômeno podem incluir melhores oportunidades de estudo e emprego, maior disponibilidade de serviços e acessibilidade entre outros.

Dawson et al. (2009) foi categórico em afirmar que a “*urbanização é uma das mais poderosas forças antropogênicas de mudanças na Terra [...] sendo marcada no século 20 a transição dos humanos de uma espécie predominantemente rural para urbana*”. Em uma cidade, por exemplo, o nível de impermeabilização do solo pode ser um fator determinante para que o aumento da precipitação ocasione - ou não - alagamentos (Oliveira et al., 2015; Jordan-Abellan et al., 2019; Arantes et al., 2021).

Tais impactos, por sua vez, afetam as pessoas também de maneira heterogênea dentro do mesmo território. Seguindo o exemplo anterior, caso a cidade alague de fato, as pessoas que moram em prédios de alto padrão não serão tão afetadas quando pessoas de baixa renda que moram em zona de várzea, as quais podem por vezes perder todos seus pertences ou até a própria vida. “*Deste modo, a mitigação e adaptação às mudanças climáticas em áreas urbanas envolvem a complexa interação entre a população, organizações governamentais ou não governamentais e setores produtivos*” (Dawson et al., 2009).

O uso e ocupação do solo urbano se refletem em como os impactos da mudança do clima serão sentidos, podendo agravar ou amenizar os efeitos da

emergência climática no cotidiano da população. Isso pode ser verificado na cidade do Recife, que viveu um processo histórico de crescimento e espraiamento urbano, através da configuração de suas vias – como foi o caso do planejamento de 1943 em vias radiais e perimetrais, e de construções de grandes conjuntos habitacionais que justificaram a remoção da população mais pobre das áreas centrais.

A consequência desse crescimento urbano e do modelo econômico e social, do Capitoleco, na cidade, unida à suas características geográficas, conferiram à cidade alto grau de vulnerabilidade à mudança do clima.

Considerando o conceito de risco climático como o resultado da exposição, vulnerabilidade e perigo, o relatório do IPCC (2014), afirma que as *“pessoas que são marginalizadas socialmente, economicamente, culturalmente, politicamente, institucionalmente ou de outra forma, estão especificamente vulneráveis às alterações climáticas e, também, a algumas respostas de adaptação e mitigação”*. A vulnerabilidade sendo “o resultado da interseção de processos sociais que resulta em desigualdades no estatuto socioeconômico e no rendimento, bem como na exposição”. Assim, coloca-se em debate a justiça climática.

A injustiça climática refere-se ao fato de que diferentes nações e grupos populacionais sofrem as consequências dos efeitos da emergência climática de maneiras distintas, sendo que os grupos em maior situação de vulnerabilidade apresentam desafios que se acumulam em virtude de menor poder político e grande desigualdade social (Harlan et al., 2015). Desta forma, para o real enfrentamento à emergência climática e desenvolvimento de resiliência a nível local, é essencial entender as raízes das injustiças ambiental e climática, apoiando assim o desenho de políticas e projetos que atuem de maneira contracíclica.

Mudanças no uso da terra impactam o clima regional e global por meio do balanço de energia da superfície, bem como através do ciclo de carbono (Pielke et al., 2002; Lo e Quattrochi, 2003; Pauleit et al., 2005). Conforme Musse et al. (2018) *“o planejamento urbano em cidades latino-americanas muitas vezes carece de níveis de informações que não são comumente encontradas ou inexistem em escalas apropriadas à necessidade”*. A utilização de técnicas e mecanismos que permitam o monitoramento de mudanças ambientais em escala local que influenciam na biodiversidade torna-se imprescindível e urgente.

Neste contexto, a utilização de técnicas e ferramentas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto têm permitido, nas últimas décadas, a análise e identificação de problemas ambientais e urbanos, espacializados de maneira rápida e sistemática (Chen

et al., 2002; Chen et al., 2006; Yuan et al., 2005; Xia et al., 2008; Oliveira et al., 2015; Barlow et al., 2016; Muposhi et al., 2016).

Estudos como o realizado por Jiang e Tian (2010) apontam como o rápido processo de urbanização e a drástica mudança de uso do solo ocasionou o surgimento de diversos problemas ambientais em cidades chinesas. Através da utilização de imagens do sensor TM e ETM+, os autores apontaram *“que as mudanças de uso foi um fator importante para o aumento da temperatura da superfície”*.

Balçik (2014) também verificou este impacto em Istambul, que passou por intenso processo de expansão urbana nos últimos 60 anos com a substituição de superfícies naturais por diversos materiais artificiais. O mesmo aponta que áreas com alta taxa de urbanização irão acelerar o aumento da temperatura e ilhas de calor urbana.

Hu e Xu (2018) propuseram um novo índice ecológico, integrando componentes primários da superfície e clima e análise de componentes principais, visando avaliar a qualidade ecológica urbana na província de Fujian, sudeste da China. Os autores verificaram que *“a construção da área construída durante o período de estudo levou a degradação ecológica enquanto que a arborização urbana promoveu qualidade ambiental na área urbana central”*.

Musse et al. (2018) também propôs a utilização de um Índice de Qualidade Ambiental Urbana (UEQI) para Cali, Colômbia integrando dados de sensoriamento remoto e dados socioeconômicos censitários e utilizando análise estatística multivariada. Assim os autores identificaram que os maiores valores para o índice ocorreram nas áreas com menos construções e mais áreas verdes. Assim, foi realizada uma categorização voltada a auxiliar os planejadores públicos e tomadores de decisão para intervenção.

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Diferença Normalizada para Áreas Construídas (NDBI) foi utilizado por Malik et al. (2019) visando correlacionar com a temperatura da superfície (Ts) para as estações do ano das cenas utilizadas. Os resultados de correlação encontrados pelos autores entre os valores de NDBI e Ts mostraram forte correlação positiva, enquanto que o NDVI e a Ts forte correlação negativa. Já entre o NDVI e NDBI forte correlação negativa.

A utilização de diversos sistemas sensores e metodologias, com as mais diversas escalas de análise, voltadas à produção de informação geográfica tem permitido a democratização de informações pelos diversos atores que compõem a sociedade, auxiliando os planejadores públicos na

tomada de decisão e a sociedade civil no engajamento necessário à resiliência.

Diante deste contexto este artigo busca abordar, a partir de índices como o Índice de Diferença Normalizada para Áreas Construídas, Índice de Vegetação da Diferença Normalizada e dados censitários do Censo IBGE, do ano de 2010, a (in)justiça climática na cidade do Recife.

2. Material e métodos

Área de estudo

O município do Recife (PE), Figura 1, capital do Estado de Pernambuco, situa-se no litoral nordestino e ocupa uma posição central, a 800 km de outras duas metrópoles regionais, Salvador (BA) e Fortaleza (CE). A cidade apresenta uma superfície territorial de 218,50 km² limitando-se ao norte com os municípios de Olinda e Paulista, ao sul com o

município de Jaboatão dos Guararapes, a oeste com São Lourenço da Mata e Camaragibe, e a leste com o Oceano Atlântico.

Com população de 1.537.704 habitantes (IBGE, 2010), correspondendo a 17,48% da população do Estado, a 41.63% da RMR, e densidade demográfica de 6.989 habitantes/km², o município expressa na sua configuração físico-territorial as diferenças provocadas pelo quadro socioeconômico que se consolidou ao longo de sua história.

Segundo a classificação climática de Köppen (1948), o clima da Cidade do Recife é do tipo As' (tropical quente e úmido), com altas temperaturas e chuvas de outono e inverno. Sua vegetação original é de Mata Atlântica, cuja principal característica são as áreas de mata densa, e os manguezais que ocupam as áreas mais baixas, sob a influência das águas das marés (Filho, 1997).

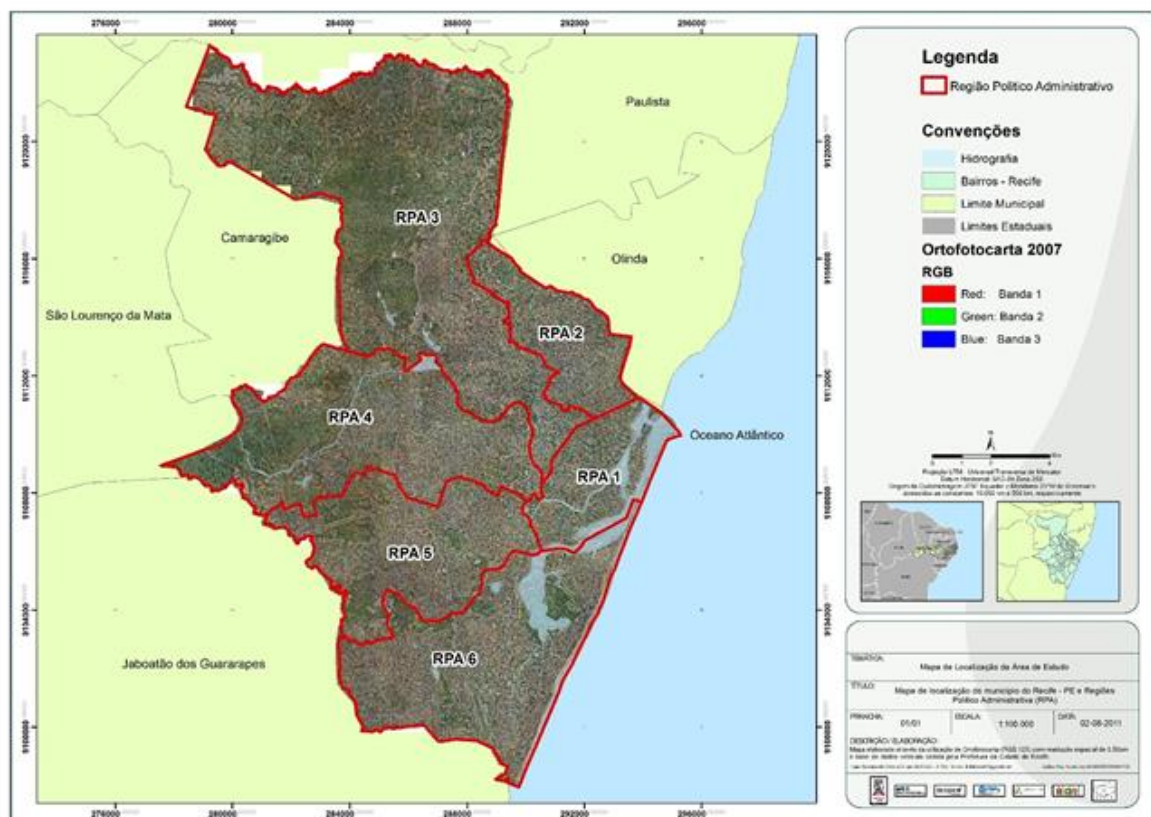


Figura 1 – Localização da área de estudo - Município do Recife – Pernambuco, Brasil e Regiões Político Administrativo (RPA). Fonte: Oliveira, T. H. (2012).

Obtenção de dados radiométricos

Foram utilizadas imagens dos sensores *Thematic Mapper* (TM) e *Operational Land Imager* (OLI) de órbita e ponto 214-066, a bordo dos satélites LANDSAT 5 e 8, respectivamente. As datas de passagem ocorreram em 28 de setembro de 1989, 26 de agosto de 2006, 06 de setembro de 2010 para o Landsat 5 e 17 de outubro de 2019 para o Landsat 8.

As datas foram escolhidas considerando a menor quantidade possível de nuvens.

As imagens, obtidas gratuitamente em sua segunda coleção e *level* um (L1TP) por meio de acesso ao sistema do *EarthExplorer* (EARTH EXPLORER, 2021) da *United States Geological Survey*, apresentam correção radiométrica, geométrica e correção de precisão. A série Landsat

teve início na década de 60, sendo dedicada, exclusivamente, para a observação de recursos naturais terrestres, fornecendo imagens para grande parte da superfície terrestre e sendo utilizado por milhares de pesquisadores em todo o mundo.

O Landsat 5 começou a operar no ano de 1984, com seu sensor *Thematic Mapper* (TM) operando nas faixas do visível, infravermelho próximo, médio e termal do espectro de radiação eletromagnética. Este sensor manteve-se em operação até novembro de 2011, com resolução espacial de 30 metros e 120 metros na faixa do termal e resolução temporal de 16 dias.

Em sua atual versão, o Landsat 8 apresenta os sensores OLI (*Operational Land Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*), operando nas faixas do visível, infravermelho próximo, médio, Cirrus e Costal, com resolução espacial de 30m e 15m na faixa pancromática. As bandas termais apresentavam resolução espacial de 100m no imageamento e passa por processamento de reamostragem da resolução para 30m em sua distribuição (NASA, 2013).

Também foi utilizado uma imagem da Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM) a bordo do satélite CBERS-4A com data de passagem em 28 de novembro de 2020 (órbita e ponto 192-123). Este sensor apresenta bandas com resolução espacial de 2m (banda pancromática) e 8m (faixas do visível e infravermelho próximo), com largura de faixa imageada de 92km e revisitada a cada 31 dias (INPE, 2021).

O satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (CBERS) são satélites de sensoriamento remoto de média resolução criados em cooperação técnico científico espacial entre o Brasil e a China, voltados a suprir meios eficazes e econômicos de observar a Terra, sem a dependência de sistemas de países desenvolvidos. A cooperação gerou o lançamento de seis satélites por parte do Brasil, sendo o CBERS-4A o mais atual em funcionamento.

Esta imagem por apresentar melhor resolução espacial foi utilizada para verificar os diferentes usos e auxiliar na identificação de áreas com maior quantidade de edificações nas regiões mais carentes. Já para visualizar como estava a distribuição de edificações e diferentes usos antes da década de 80 optou-se por utilizar as ortofotos do ano de 1974 disponibilizadas pela mapoteca da CONDEPE-FIDEM.

Pré-processamento dos dados radiométricos

Após o download das imagens de satélite, as mesmas foram submetidas ao processo de composição colorida (bandas 1 a 7 nas cenas do Landsat 5 e bandas 2 a 7 para o Landsat 8) e

posteriormente suas coordenadas foram reprojetadas para o hemisfério sul. Após a reprojeção, as imagens passaram por processo de classificação supervisionada, onde os valores de números digitais referentes a regiões com nuvem e sombra foram amostrados e posteriormente multiplicados por zero na classificação.

Posteriormente com o cômputo de índices de vegetação estas áreas apresentam um valor único, podendo facilmente ser isolado e retirado das imagens e dos cálculos estatísticos realizados pelo programa de geoprocessamento utilizado. Logo após as cenas foram recortadas para o limite adotado na pesquisa.

Cálculo da Reflectância

Após o pré-processamento, é necessário realizar a transformação dos números digitais (ND) em valores de radiância e reflectância para as cenas do sensor TM e reflectância para as cenas do sensor OLI.

A calibração radiométrica (Equação 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. A radiância de cada pixel e banda do sensor TM do satélite Landsat 5 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 (μm^{-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).

A reflectância (Equação 2 para o sensor TM e Equação 3 para o sensor OLI) 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, obtida por meio da equação (Allen et al., 2002):

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

onde $L_{\lambda i}$ é a radiância espectral de cada banda, $K_{\lambda i}$ é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($Wm^{-2} \cdot \mu m^{-1}$), θ_z é o ângulo zenital solar e θ_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).

Para o cômputo da reflectância nas imagens do sensor OLI (Equação 3), é necessário utilizar os coeficientes de calibração radiométrica disponibilizados no arquivo de metadados (MTL) junto à imagem, conforme Silva et al., 2016.

$$\rho_{\lambda i} = \frac{(Add_{ref,i} + Mult_{ref,i} ND_i)}{\cos Z \cdot d_r} \quad (3)$$

onde $Add_{ref,b}$ e $Mult_{ref,b}$ representa o fator aditivo e multiplicativo da reflectância para cada banda disponíveis no arquivo MTL (Grupo Level 1 Radiometric Rescaling). ND corresponde a intensidade do pixel (valor inteiro entre 0 e 255) e i corresponde às bandas (1, 2, ... e 7) dos satélites Landsat 8. O $\cos Z$ é o cosseno do ângulo zenital solar dado pela Equação 4 e d_r corresponde a correção da excentricidade da órbita terrestre, dado pela Equação 5:

$$\cos Z = \cos(90 - Z) \quad (4)$$

$$d_r = \left(\frac{1}{d_{ES}}\right)^2 \quad (5)$$

onde d_{ES} corresponde a distância terra sol (em unidade astronômica) para o dia da imagem, disponível no arquivo MTL.

Cálculo dos índices utilizados

O *Normalized Difference Built-up Index* (NDBI), ou Índice de Diferença Normalizada para Áreas Construídas, Equação 6, conforme Xu (2007) e proposto por Zha et al. (2003), é um índice radiométrico voltado para a identificação de áreas construídas e áreas urbanas. O grande incremento de resposta espectral entre as bandas do infravermelho próximo e médio para as áreas construídas são a base do índice.

$$NDBI = \frac{\rho_{IVM} - \rho_{IVP}}{\rho_{IVM} + \rho_{IVP}} \quad (6)$$

onde ρ_{IVM} e ρ_{IVP} correspondem, respectivamente, às bandas do infravermelho médio e infravermelho próximo, respectivamente às bandas 5 e 4 do Landsat 5 – TM e bandas 6 e 5 do Landsat 8 – OLI.

O *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) ou Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN), Equação 7, é obtido por meio da razão entre a diferença das refletividades do infravermelho próximo e do vermelho, e a soma das mesmas:

$$NDVI = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V} \quad (7)$$

onde ρ_{IV} e ρ_V correspondem, respectivamente, às bandas 4 e 3 do Landsat 5 – TM e às bandas 5 e 4 do Landsat 8 – OLI. O IVDN atua como um indicador sensível da quantidade e da condição da vegetação verde. Seus valores variam de -1 a +1, em que as superfícies vegetadas apresentam variação de valores positivos. Considerando os corpos hídricos e nuvens, o IVDN é apresentado em valores negativos.

Dados Censitários

Para o cálculo do Percentual dos domicílios particulares com rendimento nominal mensal per capita com até 1/4 de salário-mínimo foram utilizados as variáveis Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de até 1/8 salário-mínimo (V005), Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 1/8 a 1/4 salário-mínimo (V006) e Domicílios particulares sem rendimento nominal mensal domiciliar per capita (V014) disponíveis na tabela de Rendas dos Domicílios.

Deste modo estas variáveis foram somadas e divididas pela Quantidade de Domicílios particulares permanentes (DPP) multiplicado por 100 sendo obtido o resultado em porcentagem. Este conjunto de dados faz parte dos Resultados do Universo por setor censitário da Base de informações do Censo Demográfico 2010 (IBGE, 2010). No ano de 2010 o salário mínimo apresentava o valor de R\$ 510,00 (IPEADATA, 2021).

3. Resultados e discussão

Através da Figura 2 é possível visualizar a evolução espaço temporal do Índice da Diferença Normalizada para Áreas Construídas (NDBI) para as imagens de setembro de 1989, agosto de 2006, setembro de 2010 e outubro de 2019. Nota-se como os valores de NDBI superiores a 0,21, em tons de vermelho, foi ampliado para várias áreas da cidade do Recife com o passar dos anos.

Na imagem de setembro de 1989 boa parte dos pixels relacionados a este valor encontra-se concentrada na área mais central do município, nos bairros do Recife, Santo Antônio e São José, onde a maioria das edificações apresentam padrão de ocupação total da área dos lotes, em algumas áreas de entorno de grandes corredores viários, como as avenidas Caxangá e Marechal Mascarenhas de Moraes, e áreas com maior ocupação residencial pulverizadas pelo município.

A partir da imagem de agosto de 2006 é possível observar uma maior densificação e distribuição destas áreas com NDBI superiores a 0,21 o que pode indicar uma maior concentração da impermeabilização e edificações e consequente diminuição de cobertura vegetal, para a resolução

especial das imagens *TM* e *OLI*. O NDBI apresenta em sua distribuição de valores, classe de valores positivos para áreas construídas e impermeabilizadas, enquanto que as áreas negativas representam áreas com cobertura vegetal.

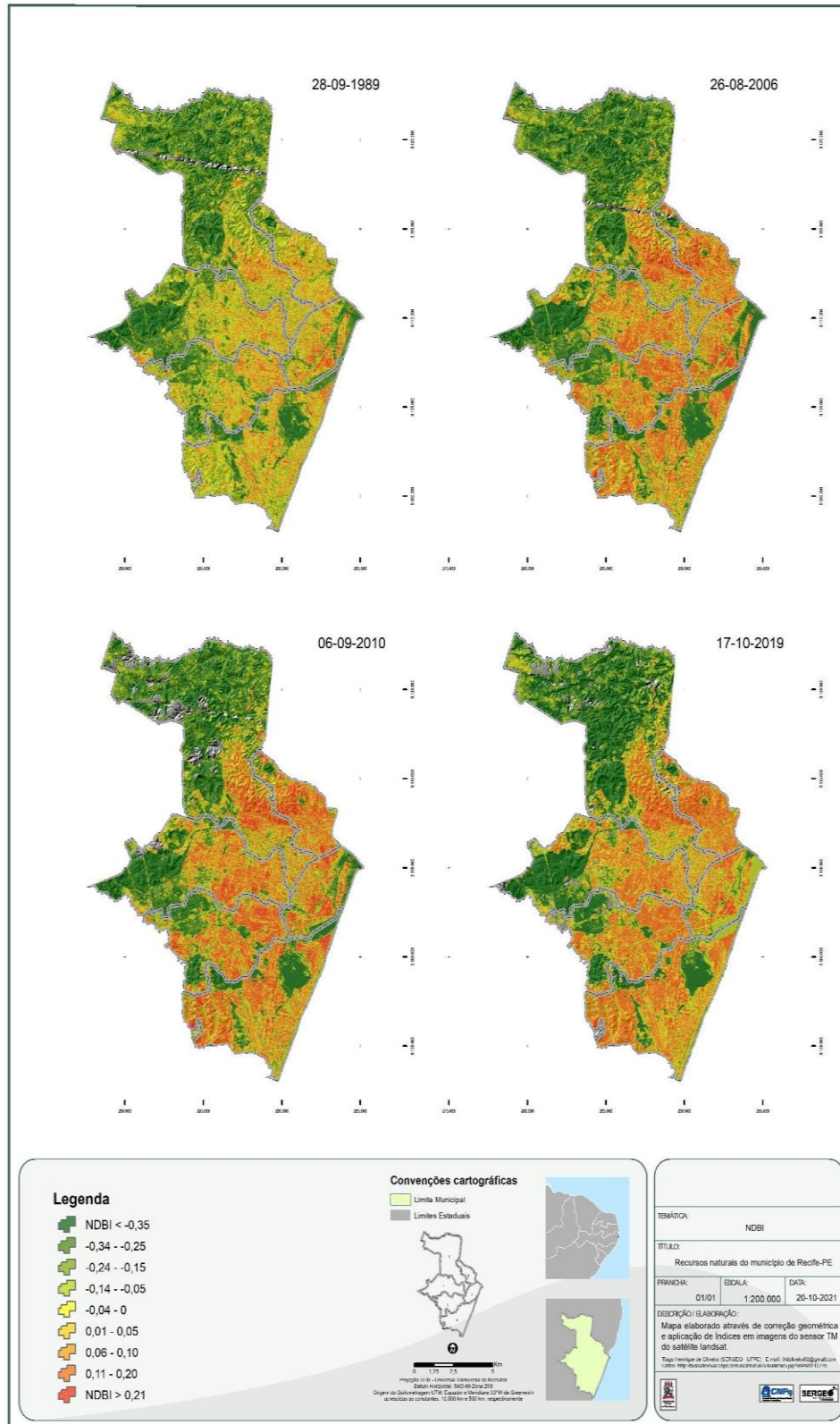


Figura 2 – Índice da Diferença Normalizada para Áreas Construídas no município de Recife para o período analisado.

Um importante resultado a ser destacado é que as áreas que apresentam concentração de população mais carente, em relação a serviços públicos e renda, a exemplo dos bairros de Brasília Teimosa, Vasco da Gama e Torrões, apresentaram valores concentrados de NDBI mais elevados, quando comparado por exemplo, a bairros e áreas com população de maior poder aquisitivo, a exemplo dos bairros da Torre, Jaqueira e Boa Viagem.

Isto provavelmente se deve ao padrão construtivo e de rugosidade observado nestas áreas. Os bairros com maior concentração de renda e serviços, geralmente, apresentam uma maior distribuição de vegetação de porte arbóreo em logradouros públicos, praças e parques e sistema viário, maior quantidade de lotes com áreas verdes, como quintais por exemplo, e maior organização quanto a quadras e calçadas, proporcionando mais espaço a arborização urbana.

Com isto estas áreas tornam-se mais heterogêneas ao sensoriamento remoto e consequentemente mais rugosas. Dependendo da

distribuição espacial destas edificações ela pode apresentar em seu entorno valores mais baixos de NDBI, o que pode dar uma falsa percepção de menor impermeabilização quando observada a região, Figura 3.

Já as áreas mais carentes, algumas com ocupações classificadas como subnormais pelo IBGE, apresentam uma menor organização espacial, em diversos casos, com ocupação quase que total das quadras, poucas áreas verdes intra lote e em logradouros públicos, pouca distribuição de parques e praças e edificações menores com predominância de ocupação total do lote pela edificação, exibindo assim valores de NDBI mais elevados e homogêneos, e com menor rugosidade, Figura 3.

Guha et al. (2018) em estudo visando analisar a distribuição espacial da temperatura da superfície e sua correlação com o NDVI e NDBI nas cidades de Florença e Nápoles, Itália, obtiveram valores de NDBI positivos para áreas urbanas enquanto as áreas com vegetação apresentaram valores de NDBI inferiores a -0.06.

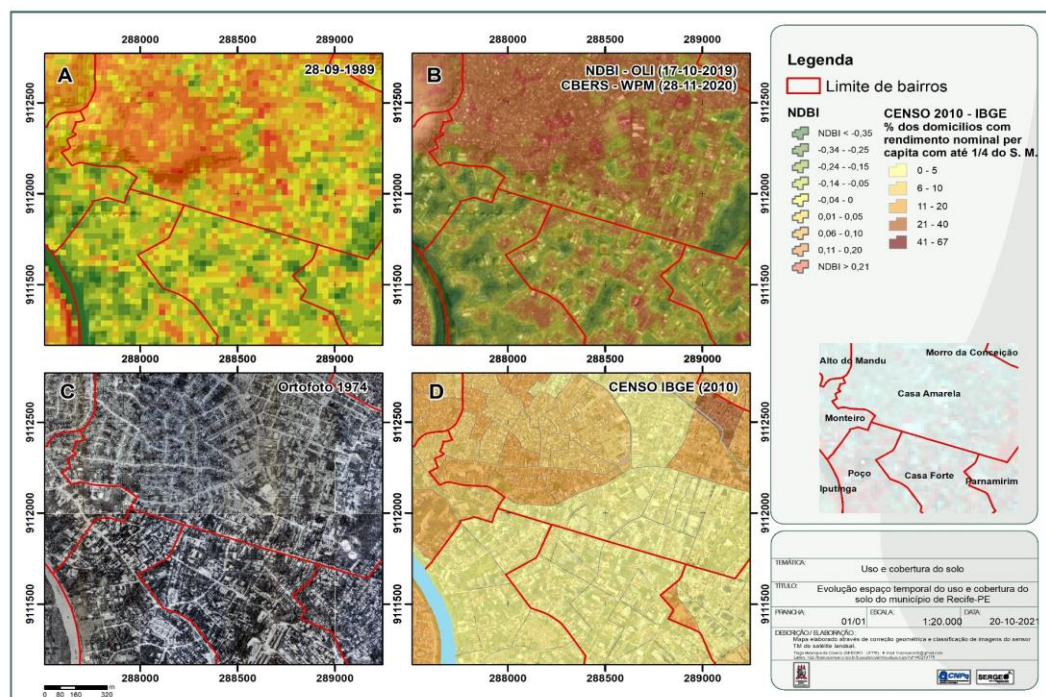


Figura 3 – Evolução espaço-temporal do NDBI no município de Recife para os anos de 1989 (A) e 2019 (B), ortofoto do ano de 1974 (C) e percentual dos domicílios com rendimento nominal per capita com até 1/4 do salário mínimo (D) do ano de 2010 para a região dos bairros de Casa Amarela e entorno. Fonte: Elaboração própria (2021) e IBGE (2010).

Do mesmo modo, nesta pesquisa, as faixas de valores de NDBI negativos estão relacionados a densidade, quantidade e distribuição de vegetação e áreas permeáveis de acordo com a resolução espacial da imagem utilizada para o índice. As áreas com vegetação de porte arbóreo ou com maior densidade

de copa apresentaram valores de NDBI inferiores a -0,35. Já as áreas com menor concentração de indivíduos de porte arbóreo ou com vegetação de estrato herbáceo e ou arbustivo apresentam variação de valores classificados entre -0,05 e -0,34, conforme pode ser melhor visualizado através da Figura 3.

Nota-se como as áreas classificadas como áreas de morro, a exemplo no Sul com o bairro da Cohab e ao norte com bairros como Vasco da Gama, Macaxeira, Água Fria e Alto José do Pinho, apresentaram um aumento espaço-temporal de áreas com valores de NDBI superiores a -0,35, Figura 2. Isto se deve a maior quantidade de construção de edificações e a impermeabilização de algumas áreas de encosta voltada a diminuição de risco a deslizamento e estabilização de encostas entre os anos de 1989 e 2019.

As áreas que apresentam valores negativos de NDBI em algumas destas regiões, áreas com vegetação, apresentam as elevadas declividades como fator determinante para a não ocupação pela população. Deste modo as áreas que apresentam valores de NDBI mais elevados e consequentemente uma menor quantidade de áreas vegetadas podem apresentar valores mais elevados de temperatura da superfície e ampliar a recorrência de fenômenos como as ilhas de calor e o rápido acúmulo de água em períodos chuvosos.

Tendo em vista esta maior quantidade de impermeabilização e construções Gartland (2010, pág. 182), cita que a adoção de efeitos mitigadores, como a distribuição de árvores e vegetação de pequeno porte nos centros urbanos e a utilização de pavimentos permeáveis, auxiliando na redução de enchentes influenciado pelo escoamento superficial em períodos de maior precipitação.

Resultados encontrados por Jodar-Abellan et al. (2019) em 5 bacias de ravinhas do Mediterrâneo, demonstraram que os riscos de enchentes aumentaram devido às mudanças de uso do solo afetados pelo grande crescimento urbano. Em algumas bacias estudadas cerca de 70% da área da bacia apresentava superfície ocupada por solo urbano de alta densidade populacional. “A resposta hidrológica das bacias estudadas mudou para picos de vazão mais elevados e tempo de concentração mais curtos” (Jodar-Abellan et al., 2019).

Fatores históricos aliados ao alto valor do solo acabam influenciando na utilização de quintais de lotes maiores para a construção de novas edificações voltadas à moradia de parentes ou aluguel, conforme observado por Oliveira et al., (2015).

Através da Figura 4 é possível observar como áreas de NDBI com valores variando entre inferiores a -0,35 e 0, distribuídas no interior de comunidades, vão diminuindo espacialmente devido a ocupação destas áreas e diminuição de cobertura vegetal. Já as áreas consideradas como formais, a exemplo de quadras próximas à orla que apresentam menos de 10% dos domicílios com rendimento nominal per capita inferior a 1/4 do salário-mínimo, apresentam a permanência de valores negativos de NDBI, indicando maior quantidade de áreas verdes e permeáveis.

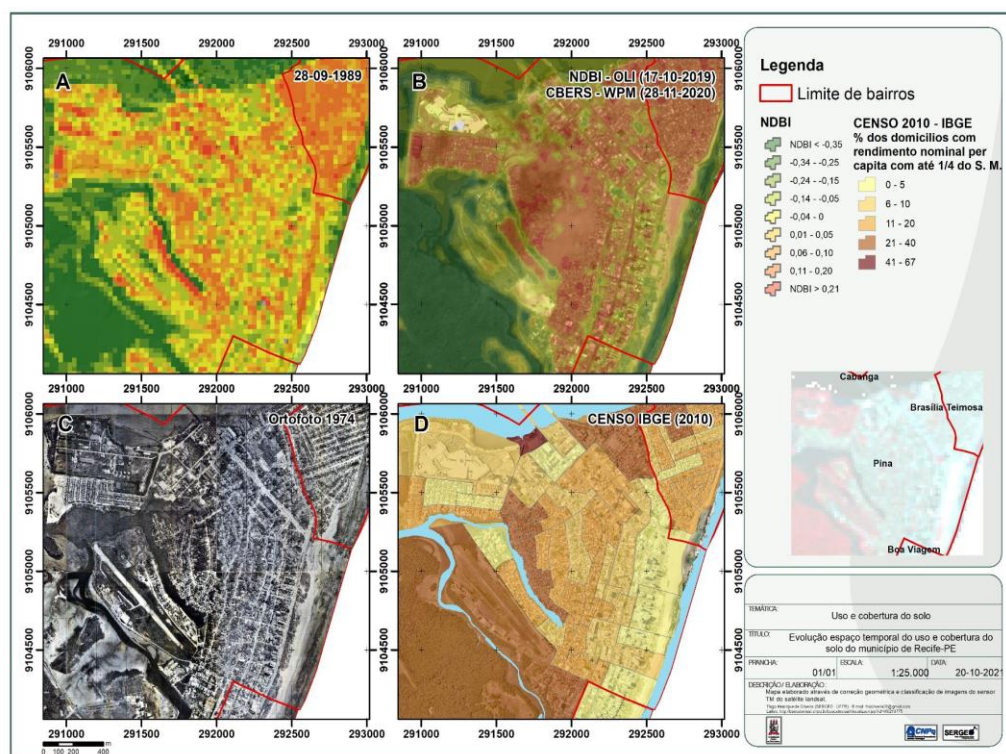


Figura 4 – Evolução espaço-temporal do NDBI no município de Recife para os anos de 1989 (A) e 2019 (B), ortofoto do ano de 1974 (C) e percentual dos domicílios com rendimento nominal per capita com até 1/4 do salário-mínimo (D) do ano de 2010 para o bairro do Pina e entorno.

Observando o bairro do Caçote e entorno, figura 6, é possível visualizar as intensas mudanças ocorridas nesta região. O próprio bairro do Caçote apresentou a conversão de metade da área do bairro com vegetação em área residencial. Assim como no bairro de Areias onde é observado uma maior homogeneização de valores de NDBI superiores a 0,20 entre as imagens do ano de 1989 e 2019, Figura 5 (A) e 6 (B) respectivamente.

Estes bairros apresentam vários setores censitários com mais de 11% dos domicílios com rendimento nominal per capita de até 1/4 do salário-mínimo à época, Figura 6 (D). Mais da metade do bairro do Caçote, assim como áreas do entorno do rio Tejipi, apresentam mais de 41% dos domicílios com rendimento nominal per capita de até 1/4 do salário-mínimo sendo caracterizadas como áreas mais com maior vulnerabilidade social.

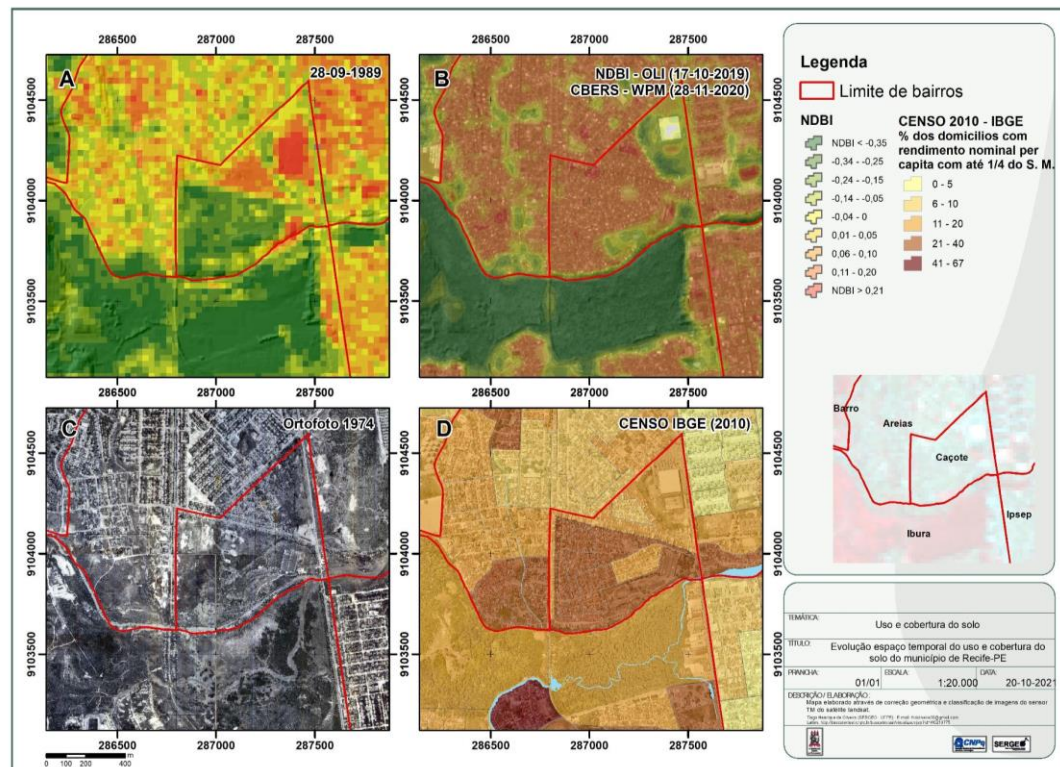


Figura 5 – Evolução espaço-temporal do NDBI no município de Recife para os anos de 1989 (A) e 2019 (B), ortofoto do ano de 1974 (C) e percentual dos domicílios com rendimento nominal per capita com até ¼ do salário-mínimo (D) do ano de 2010 para o bairro de Caçote e entorno.

Na Figura 6 é possível observar a distribuição espaço temporal do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada na cidade do Recife para as datas utilizadas no estudo. Do mesmo modo é visualizado a diminuição da cobertura vegetal na parte intra-urbana e aumento da densidade de cobertura vegetal nas áreas mais ao norte e oeste do município em grandes fragmentos florestais.

Conforme visualizado no NDBI, Figura 2, quando observado a região central do município, nota-se que os valores de NDVI foram diminuindo da área central para as áreas mais periféricas do município com o passar dos anos. Deste modo estas áreas apresentaram a diminuição de densidade cobertura vegetal, passando a exibir a predominância de valores de NDVI classificados entre 0 e 0,30.

As áreas mais centrais que continuaram a exibir valores de NDVI associados a vegetação

concentravam-se em áreas de praça e parque e algumas glebas de órgãos públicos como a Prefeitura da Cidade do Recife, RFFSA (Rede Ferroviária Federal), exibindo valores superiores a 0,50.

Também é possível visualizar a mudança de valores ao longo de grandes avenidas entre as imagens dos anos de 1989 e 2006. No ano de 1989 o entorno das avenidas Caxangá e avenida Marechal Mascarenhas de Moraes, por exemplo, apresentavam predominância de valores em tons de amarelo, com valores de NDVI classificados entre 0,30 e 0,50. Já na imagem de 2006 é possível ver a diminuição de densidade de cobertura vegetal passando a predominar tons de rosa e exibindo valores de NDVI inferiores a 0,30.

Quando observado as áreas mais carentes do município, este padrão é recorrente em grande parte do território do Recife, evidenciando diminuição de

cobertura vegetal e aumento da impermeabilização. Conforme Lima et al. (2009) “a amplitude térmica, o regime pluviométrico, o balanço hídrico e a umidade

do ar são fatores diretamente afetados pelo dimensionamento e disposição da arborização urbana”.

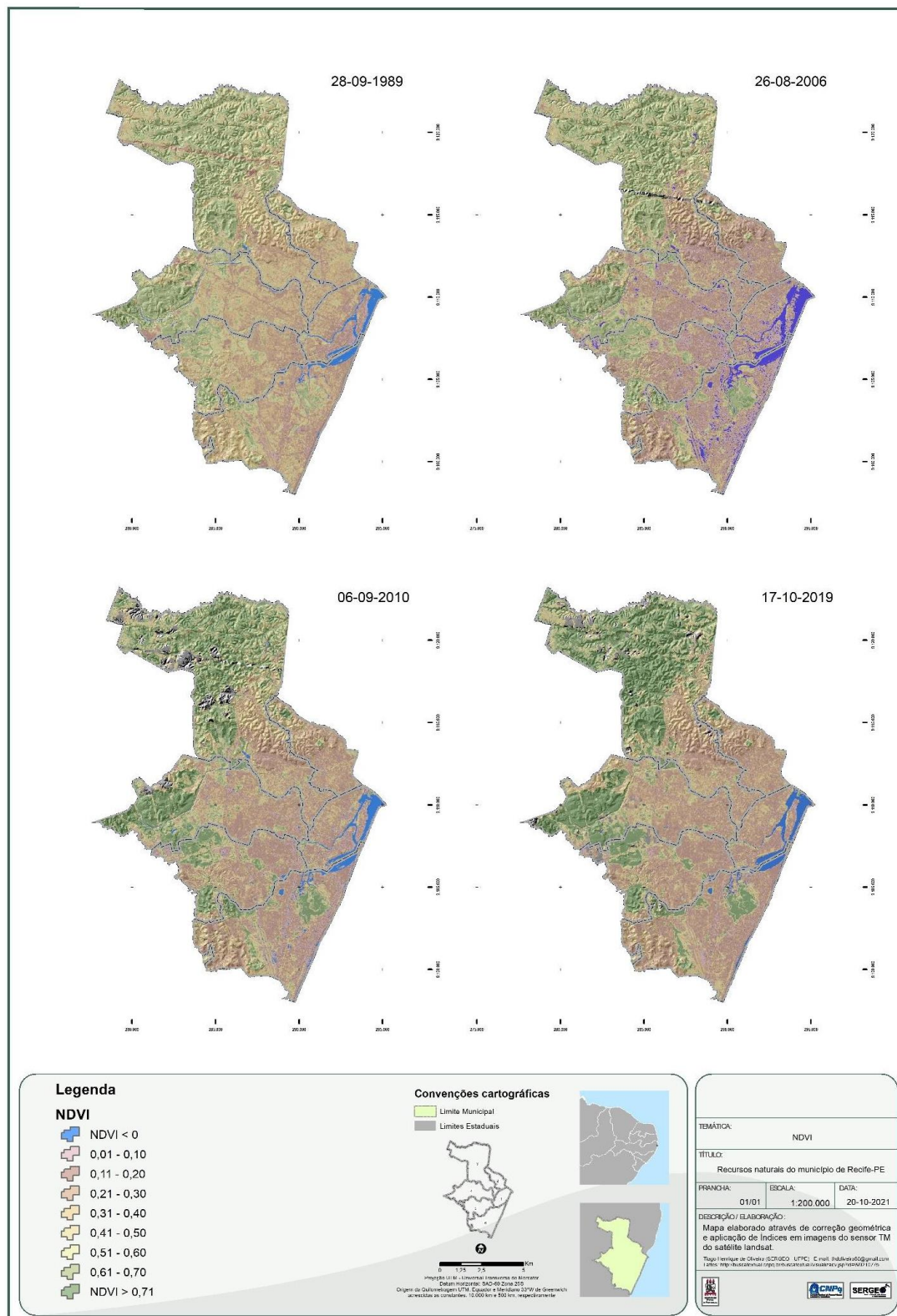


Figura 6 – Índice de Vegetação da Diferença Normalizada no município de Recife para o período analisado.

As áreas vegetadas ainda se apresentam como importantes agentes de amenização da temperatura, redução do consumo de energia e

aumento da qualidade do ar (Oliveira, 2012). Conforme Almeida (2009) “a presença e distribuição da vegetação têm implicações termodinâmicas que

repercutem decisivamente no desempenho energético da cidade”.

Vieira e Biondi (2008) verificaram uma diminuição da cobertura vegetal do município de Curitiba, passando de 39% do território para 30% entre os anos de 1986 e 2004. Esta diminuição ocorreu como resultado do processo de crescimento urbano em todas as regionais administrativas do município.

Como é possível verificar na Figura 6, do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada no município de Recife, entre 1989 e 2019, há um importante adensamento da cidade e crescimento sobre suas áreas verdes. Como o uso e ocupação do solo urbano reflete diretamente nos impactos da mudança do clima, tal redução pode explicar parcialmente o agravamento dos efeitos da emergência climática no cotidiano da população.

Historicamente, Recife vem crescendo sua área urbana, como se pode verificar na Figura 7, em 1909 a cidade ocupava apenas o pequeno trecho da região central. Já na década de 1940 e 1950, com a abertura de grandes vias radiais e perimetrais e o estímulo ao transporte individual, há o primeiro grande crescimento urbano. Que, na sequência, se espalha para quase todo o território municipal. Hoje, como demonstra o diagnóstico Propositivo do Plano de Ordenamento Territorial do Recife, praticamente todo esse território é urbano, Figura 8.

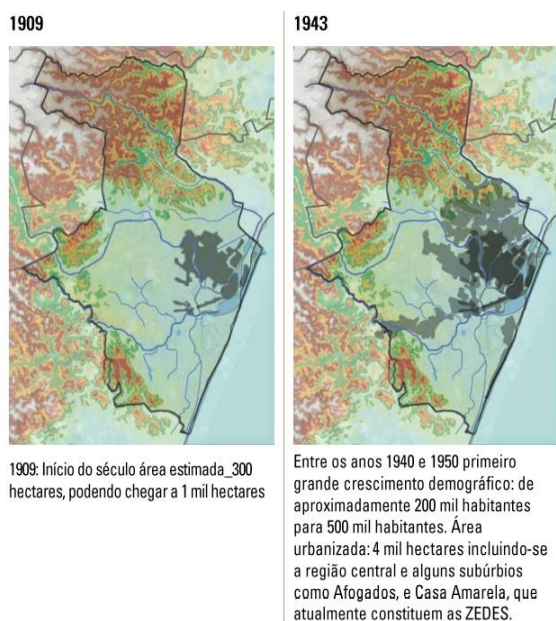


Figura 7 - Evolução da mancha urbana no Recife de 1909 até 1943. Fonte: Marinho (2015).

Esse processo histórico de crescimento e espraiamento urbano, através da configuração de suas vias – como foi o caso do planejamento de 1943 em vias radiais e perimetrais, e de construções de grandes conjuntos habitacionais, justificaram e estimularam a remoção da população mais pobre das áreas centrais. Essas áreas de crescimento, cada vez mais valorizadas no mercado imobiliário, promoveram, também, as muitas áreas que hoje se constituem nos locais de maior risco e vulnerabilidade à mudança do clima.

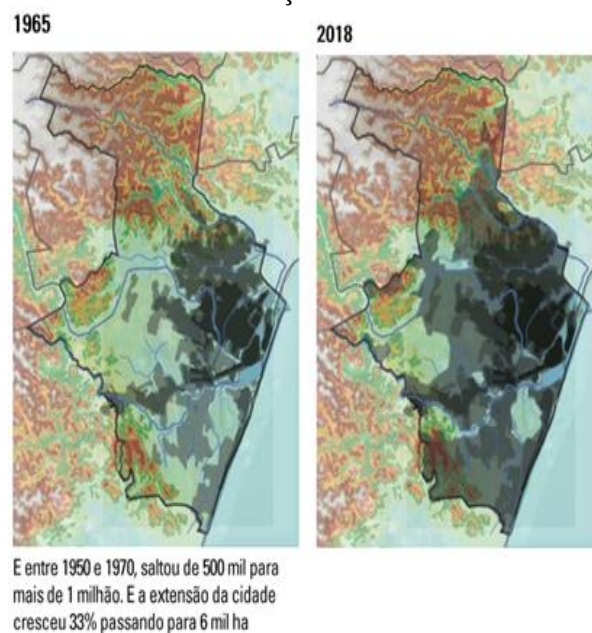


Figura 8 - Evolução da mancha urbana no Recife de 1965 até 2018. Fonte: Marinho (2015).

Esse é o caso de toda a região da bacia do rio Tejiupió. Composta por áreas urbanizadas com conjuntos habitacionais que têm porte de uma cidade pequena - como o Ignez Andreazza, mas também de ZEIS e de áreas com palafitas -, essa região reúne todas as principais vulnerabilidades do Recife à mudança do clima.

Isso é demonstrado através do mapeamento realizado em conjunto com a Prefeitura da Cidade do Recife pelo consórcio WayCarbon e ICLEI, financiado pela CAF Banco de Desenvolvimento para a América Latina e pela Agência Francesa de Desenvolvimento, a Análise de Riscos e Vulnerabilidades do Recife mapeia os riscos atuais à vulnerabilidade climática e faz projeções de 2019 à 2040, Figura 9.

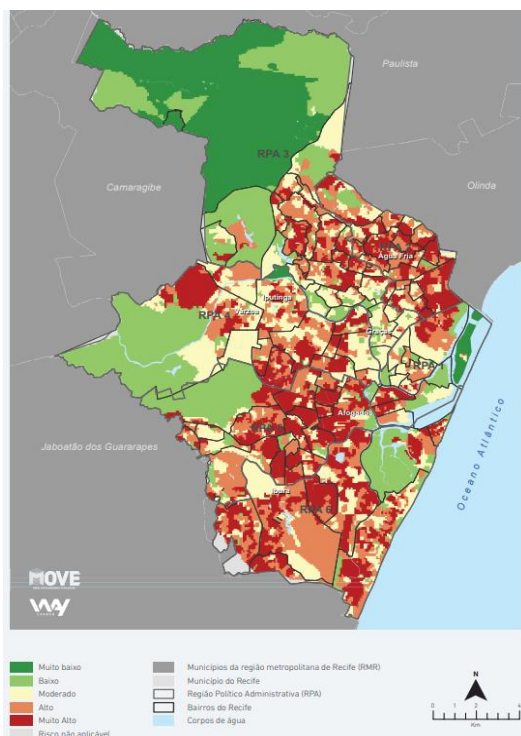


Figura 9 - Mapa de projeção de riscos de onda de calor no Recife entre 2011 e 2040. Fonte: Recife (2019).

Avaliando as áreas de risco à mudança do clima da cidade, sob a ótica do risco às ondas de calor, podemos verificar como isso se configura especialmente nas áreas de maior vulnerabilidade social do Recife. Um bom exemplo é a borda do Rio Capibaribe que, na sua margem direita, mais rica, não sofre com o risco das ondas de calor; já a margem esquerda, observa-se claramente esse risco nas comunidades mais pobres, Figura 10.

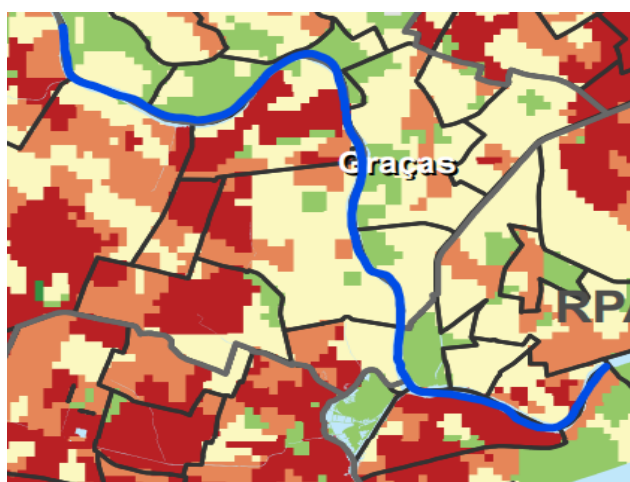


Figura 10 - Mapa de projeção de riscos de onda de calor no Recife entre 2011 e 2040. Fonte: Recife (2019).

Olhando sob a ótica da vulnerabilidade à seca meteorológica, Figura 11, esse quadro não muda muito. então, quando aproximamos o olhar sobre a

região da bacia do rio Tejupió, vemos o quanto esse efeito da mudança do clima poderá atingir seus moradores.

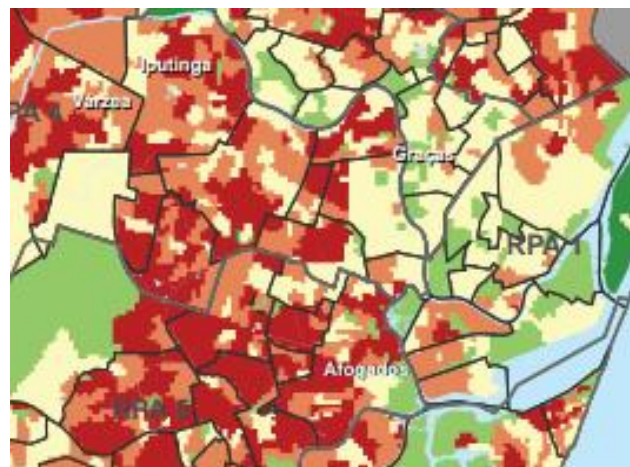


Figura 11 - Mapa de projeção de riscos de seca meteorológica no Recife entre 2011 e 2040. Fonte: Recife (2019).

Numa cidade como Recife, que segundo o IPCC é uma das cidades com maior risco climático do planeta, o risco das inundações está presente em quase todo o território, exceto nas áreas de morro. Porém, é exatamente nas áreas com menor acesso ao saneamento básico e infraestrutura urbana que isso aparece de forma substancial, inclusive nas doenças transmissíveis, Figura 12.

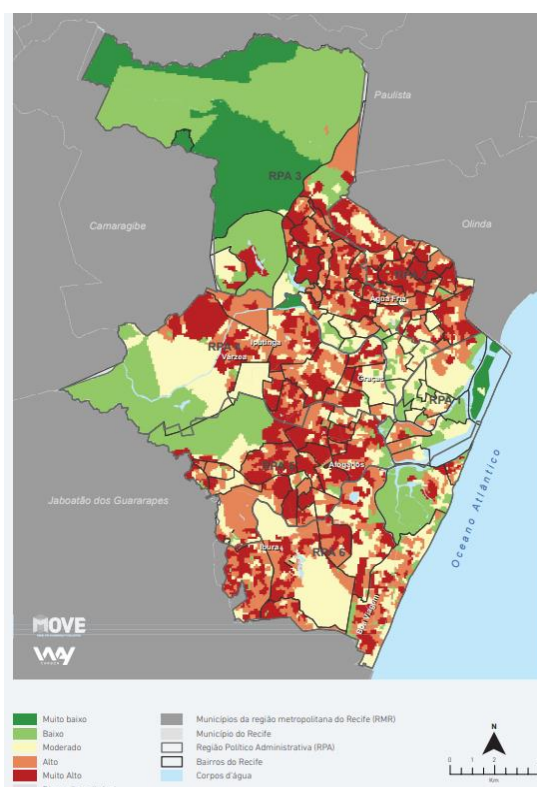


Figura 12 - Mapa de projeção de riscos a doenças transmissíveis no Recife entre 2011 e 2040. Fonte: Recife (2019).

Nesse mapa, nota-se claramente a diferença no nível de risco na cidade, mais uma vez evidenciando que os bairros de maior poder aquisitivo (e melhor infraestrutura urbana) apresentam riscos muito inferiores aos demais.

4. Conclusão

Através da utilização de índices como o NDBI e NDVI foi possível observar as diferenças observadas entre as áreas formais e mais carentes na cidade do Recife. Estas áreas apresentaram acentuada diminuição de cobertura vegetal, assim como aumento nos valores de NDBI indicando aumento na quantidade de edificações e densidade.

Já as áreas formais conseguiram manter uma maior distribuição de cobertura vegetal. Porém é necessário levar em consideração a resolução espacial da imagem a ser utilizada, tendo em vista que devido a maior distribuição de áreas verdes e maiores tamanho de lotes é observada uma menor homogeneização dos valores e uma falsa percepção de menor ocupação.

Corroborando com as imagens que demonstram a diferença no adensamento urbano e da vegetação, o mapeamento da vulnerabilidade climática demonstra que as áreas onde a população sofre as maiores mazelas sociais, econômicas e de infraestrutura urbana, são também as regiões com maior propensão à grandes consequências à mudança do clima, com risco de vidas humanas em escalas sem precedentes.

Isso demonstra a importância desse tipo de estudo, debruçando para o espaço, para colaborar com políticas públicas eficazes e eficientes, de tal forma que, com a velocidade que a crise climática nos indica, a cidade ainda seja capaz de buscar se adaptar e aumentar sua resiliência.

Nesse sentido, as cidades necessitam considerar o reconhecimento das diferentes camadas de dificuldade que certos grupos enfrentam na vida cotidiana (como mulheres, ou grupos raciais ou étnicos particulares, pessoas LGBTQIA+ e pessoas com deficiência) e como estas se sobrepõem.

Isso significa - em termos de enfrentamento à emergência climática - analisar atentamente como cada política e projeto de ação climática atuam para a promoção da justiça em todos os seus eixos: social, ambiental, territorial e climática. Ou seja, estabelecer se as intervenções em nome das mudanças climáticas servem para manter o status quo e, assim, perpetuar os padrões de desigualdade na cidade, ou se tem potencial para fomentar mudanças estruturais e sistêmicas para um verdadeiro desenvolvimento urbano sustentável.

Agradecimentos

À todos(as) aqueles(as) que lutam pela valorização da ciência e da educação no Brasil, e à todos(as) os(as) cientistas brasileiros pelo empenho e dedicação em continuar construindo conhecimento com excelência mesmo diante de tantos ataques e retrocessos.

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/CLASS_DAY_04.11.2010/LAB/quixere/quixere/Final%20Sebal%20Manual.pdf. Acesso: 10 dez. 2010.
- Almeida, A.M.de., 2009. Conforto térmico e eficiência energética em edifício multifamiliar na cidade de Maceió – AL. Dissertação (Mestrado). Maceió, UFAL.
- Aragão, L.E.O.C., Malhi, Y., Barbier, N., Lima, A., Shimabukuro, Y., Anderson, L., Saatchi, S., 2008. Interactions between rainfall, deforestation and fires during recent years in the Brazilian Amazônia. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 363, 1779–1785. doi:10.1098/rstb.2007.0026
- Arantes, L.T., Carvalho, A.C.P., Carvalho, A.P.P., Lorandi, R., Moschini, L.E., Di Lollo, J.A., 2021. Surface runoff associated with climate change and land use and land cover in southeast region of Brazil. *Environmental Challenges* 3, 1-10.
- Balçık, F.B., 2014. Determining the impact of urban components on land surface temperature of Istanbul by using remote sensing indices. *Environmental Monitoring and Assessment* 186, 859–872.
- Barlow, J., Lennox, G.D., Ferreira, J., Berenguer, E., Lees, A.C., Nally, R.M., Gardner, T.A., 2016. Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. *Nature* 535, 144–147.
- Carvalho, A., Ferreira, V., Matos, A.R., 2021. Ontologias do Antropoceno: crise climática, respostas sociopolíticas e tecnologias emergentes. *Forum Sociológico* 38, 5-13.
- Chander, G., Markham, B., 2003. Revised LANDSAT-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 41, 2674-2677.
- Chen, Y., Wang, J., Li, X., 2002. A study on urban thermal field in summer based on satellite remote sensing. *Remote Sensing for Land and Resources* 4, 55–59.

- 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* 104, 133–146.
- Cotton, W., Pielke, R.A.Sr., 2007. *Human impacts on weather and climate*. 2nd ed. Cambridge University Press, Cambridge.
- Dawson, R.J., Hall, J.W., Barr, S.L., Batty, M., Bristow, A.L., Carney, S., Dagoumas, A., Evans, S., Ford, A., Harwatt, H., Köhler, J., Tight, M.R., Walsh, C.L., Zanni, A.M., 2009. A blueprint for the integrated assessment of climate change in cities. *Tyndall Working*. (Paper, 129). Disponível: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.365.4657&rep=rep1&type=pdf>. Acesso: 5 out. 2021.
- Di Giulio, G.M., Torres, R.R., Vasconcellos, M.P., Braga, D.R.G.C., Mancini, R.M., Lemos, M.C., 2019. Eventos extremos, mudanças climáticas e adaptação no estado de São Paulo. *Ambiente & Sociedade* 22, 1-20.
- EarthExplorer, 2018. Landsat 5 e 8. Disponível: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso: 1 jun. 2018.
- Filho, W.D.C., 1997. *Estudo hidroquímico nos aquíferos da planície do Recife*. Dissertação (Mestrado). Recife, UFPE.
- Gartland, L.de, 2010. Ilhas de calor para comunidades frescas, in: Gartland, L., *Ilhas de Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas*. Tradução Silvia Helena Gonçalves. Oficina de Textos, São Paulo.
- Guha, S., Govil, H., Fey, A., Gill, N., 2018. Analytical study of land surface temperature with NDVI and NDBI using Landsat 8 OLI and TIRS data in Florence and Naples city, Italy. *European Journal of Remote Sensing* 51, 667-678.
- Harlan, S.L., 2015. Climate Justice and Inequality, in: Dunlap, R.E., Brulley, R.J. (Org.), *Climate Change and Society: sociological perspectives*. Oxford University Press. doi: 10.1093/acprof:oso/9780199356102.001.0001
- Hu, X., Xu, H., 2018. A new remote sensing index for assessing the spatial heterogeneity in urban ecological quality: A case from Fuzhou City, China. *Ecological Indicators* 89, 11-21.
- Koppen, W., 1948. *The Climates of North America*. R. Handbuch der Klimatologie, Berlin.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. *Censo Brasileiro de 2010*. IBGE, Rio de Janeiro. Disponível: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/downloads-estatisticas.html>. Acesso: 8 jun. 2021.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2021. *Sobre o CBERS*. Disponível: <http://www.cbbers.inpe.br/sobre/index.php>. Acesso: 4 set. 2021.
- IPCC, 2014. *Alterações Climáticas 2014: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade - Resumo para Decisores*. Contribuição do Grupo de Trabalho II para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y. O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, L.L. White (eds.)]. Organização Meteorológica Mundial (WMO), Genebra.
- IPCC, 2021. Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge.
- IPEADATA, 2021. Salário mínimo nominal vigente. Disponível: <http://www.ipeadata.gov.br/exibeserie.aspx?stub=1&serid1739471028=1739471028>. Acesso: 5 nov. 2021.
- Jordar-Abellan, A., Valdes-Abellan, J., Pla, C., Gomariz-Castillo, F., 2019. Impact of land use changes on flash flood prediction using a sub-daily SWAT model in five Mediterranean ungauged watersheds (SE Spain). *Science of The Total Environment* 657, 1578-1591.
- Jiang, J., Tian, G., 2010. Analysis of the impact of Land use/Land cover change on Land Surface Temperature with Remote Sensing. *Procedia Environmental Sciences* 2, 571–575.
- Kishtawal, C.M., Niyogi, D., Tewari, M., Pielke S.R.D.R.A., Shepherd, J.M., 2009. Urbanization signature in the observed heavy rainfall climatology over India. *International Journal of Climatology* 30, 1908-1916. doi: <http://dx.doi.org/10.1002/joc.2044>.
- Klein, A.H.F., Neves, C.F., Muehe, D.C.E.H., Carvalho, J.L.B., Araújo, M., 2009. Vulnerabilidades da zona costeira as mudanças climáticas. COPPETEC fundação. PENO 11896, 1-461.
- Lo, C.P., Quattrochi, A.D., 2003. Land-Use and Land-Cover Change, Urban Heat Island Phenomenon, and Health Implications: A Remote Sensing Approach. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 69, 1053–1063.

- Lima, M.O., Vieira, V.C.B., Teixeira, M.A.C.M.T., 2009. Uso de geotecnologias para análises da cobertura vegetal urbana. *Revista MundoGeo – On-line*. Disponível: http://www.mundogeo.com.br/revistas-interna.php?id_noticia=13552. Acesso: 8 jun. 2021.
- Malik, M.S., Shukla, J.P., Mishra, S., 2019. Relationship of LST, NDBI and NDVI using Landsat-8 data in Kandaihimmat Watershed, Hoshangabad, India. *Indian Journal of Geo Marine Sciences* 48, 25-31.
- Marengo, J.A., Alves, L.M., 2016. Crise hídrica em São Paulo em 2014: seca e desmatamento. *Geosp - Espaço e Tempo* 19, 485-494.
- Marinho, G., 2015. Recife 500 anos, Aries (2015). Adaptação: consórcio Diagonal/JW (2018) - Diagnóstico Propositivo do Plano de Ordenamento Territorial do Recife. Disponível: <https://planodiretor.recife.pe.gov.br/plano-de-ordenamento-territorial>. Acesso: 15 out. 2021.
- Markham, B.L., Barker, L.L., 1987. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. *International Journal of Remote Sensing* 8, 517-523. doi: 10.1080/01431168708948658
- Muposhi, V.K., Chademana, T.C., Gandiwa, E., Muboko, N., 2016. Edge effects: impact of anthropogenic activities on vegetation structure and diversity in western Umfurudzi Park, Zimbabwe. *Afr Journal Ecology* 54, 450-459
- Musse, M.A., Barona, D.A., Rodriguez, L.M.S., 2018. Urban environmental quality assessment using remote sensing and census data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 71, 95-108.
- NASA. National Aeronautics and Space Administration, 2013. Landsat 8. Disponível: http://www.nasa.gov/mission_pages/landsat/spacecraft/index.html#.UieDrzY3s0M. Acesso: 4 ago. 2013.
- Nobre, C.A., Young, A.F., Saldiva, P., Marengo, J.A., Nobre, A.D., Alves Jr., S., Silva, G.C.M.da, Lombardo, M., 2010. Vulnerabilidades das Megacidades Brasileiras às Mudanças Climáticas: Região Metropolitana de São Paulo. INPE, UNICAMP, USP, IPT, UNESP, Rio Claro. Disponível: https://www.nepo.unicamp.br/publicacoes/livros/megacidades/megacidades_RMSP.pdf. Acesso: 24 out. 2021.
- Nunes, A.A., Pinto, E.J.A., Baptista, M.B., 2018. Detection of trends for extreme events of precipitation in the Metropolitan Region of Belo Horizonte through statistical methods. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 23, 1-13.
- Oliveira, T.H., 2012. Mudança espaço temporal do uso e cobertura do solo e estimativa do balanço de energia e evapotranspiração diária no município do Recife-PE. Dissertação (mestrado). Recife, UFPE.
- 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* 6, 1598-1616.
- Oliveira, T.H., Santos, M.O., Oliveira, J.S.S., Galvêncio, J.D., 2015. Evolução espaço-temporal da drenagem superficial e do processo de impermeabilização em Santo Amaro, Recife-PE. *Revista Brasileira de Geografia Física* 8, 1571-1587.
- 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* 71, 295-310.
- Pielke, R.A., Marland, G., Betts, R.A., Chase, T.N., Eastman, J.L., Niles, J.O., Niyogi, D.D.S., Running, S.W., 2002. The influence of land-use change and landscape dynamics on the climate system: relevance to climate-change policy beyond the radiative effect of greenhouse gases. *Philosophical Transactions of The Royal Society A Mathematical Physical and Engineering Sciences* 360, 1705-1719.
- Recife, 2019. Análise de Riscos e Vulnerabilidades Climáticas e Estratégia de Adaptação do Município do Recife - PE. Prefeitura da Cidade do Recife. Banco de Desenvolvimento de América Latina. WayCarbon e ICLEI. Disponível: <https://americadosul.iclei.org/documentos/analise-de-riscos-e-vulnerabilidades-climaticas-do-municipio-do-recife/>. Acesso: 15 out. 2021
- Santos, D.D., Filho, A.P. Q., Galvani, E., 2017. Precipitação e eventos extremos: mapeamento bibliométrico de artigos científicos internacionais. *Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*, Campinas.
- Silva, B.B., Braga, A.C., Oliveira, L.M.M., Montenegro, S.M.G.L., Barbosa, B.J., 2016. Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian semi-arid. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 20, 1, 3-8.
- Shang, H., Yan, J., Gebremichael, M., Ayalew, S.M. 2011. Trend analysis of extreme precipitation in the northwestern highlands of Ethiopia with a case study of debre markos. *Hydrology and Earth System Sciences* 15, 1937-1944.
- UN, 2018. United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Dynamics. *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*. UN/DESA/PD, Nova York. Disponível:

- <https://population.un.org/wup/Publications/>. Acesso: 28 out. 2021.
- Vieira, C.H.S.D., Biondi, D., 2008. Análise da dinâmica da cobertura vegetal de Curitiba, PR (de 1986 a 2004), utilizando imagens Landsat TM. *Revista Árvore* 32, 479-487.
- Xia, Z., Rui, S., Bing, Z., Qingxi, T., 2008. Land cover classification of the North China Plain using MODIS EVI time series. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 63, 476-484. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2008.02.005>
- Xu, Z., X., Zhang, L., Ruan, B.Q., 2006. Analysis on the spatiotemporal distribution of precipitation in the Beijing Region. *Arid Land Geography* 29, 186-193.
- Xu, H., 2007. Extraction of Urban Built-up Land Features from Landsat Imagery Using a Thematic-oriented Index Combination Technique. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 73, 1381-1391.
- Yuan, F., Sawaya, K.E., Loeffelholz, B.C., Bauer, M.E., 2005. Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing. *Remote Sensing of Environment* 98, 317-328.
- 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* 24, 583-594.