

PROPOSIÇÃO PARA UM MODELO DE IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL: INDICADORES PARA O VERDE URBANO (IVU)

PROPOSAL FOR A MODEL OF COMPUTATIONAL IMPLEMENTATION: INDICATORS FOR URBAN GREEN (IUG)

Thayssa Barbosa da Silva Neves¹, Lucila Chebel Labaki²

RESUMO:

A cobertura vegetal, considerada como um elemento essencial no equilíbrio ambiental e biofílico da paisagem urbana. Entretanto, as áreas destinadas a essas têm sofrido com uma redução progressiva de prioridade de preservação e manejo, tanto em áreas consolidadas como em zonas de expansão urbana, evidenciando a necessidade de se reforçar/recriar ferramentas voltadas para a regulação deste parâmetro na legislação urbana. Propõe-se nesta pesquisa, portanto, um sistema de ferramentas denominado como Indicadores para o Verde Urbano (IVU), definido como uma implementação computacional de indicadores que, por meio de uma abordagem algorítmico-paramétrica, permite estabelecer a correlação existente entre os parâmetros de densidade construída e densidade vegetada. Para validar o sistema proposto, aplicou-se o IVU em testes hipotéticos e reais, sendo estes últimos realizados no bairro Altiplano Cabo Branco (João Pessoa – PB – Brasil). Os valores calculados nas situações hipotéticas serviram de base para o encaminhamento da aplicação do IVU em situações reais, cujo os resultados puderam ser confrontados com dados microclimáticos da cidade de João Pessoa (Ribeiro, 2014). Espera-se que a metodologia proposta pelo Indicadores para o Verde Urbano (IVU) possa auxiliar a fornecer dados de fundamental importância para alcançar maiores níveis de amenização do rigor climático que incide gradualmente nos grandes núcleos urbanos, assim como, contribuir para a promoção da implementação de medidas mais equitativas e ambientalmente qualificadas.

PALAVRAS-CHAVE: verde urbano; densidade vegetada; densidade construída; implementação computacional.

ABSTRACT:

Vegetation cover is considered as an essential element in the environmental and biophilic balance of the urban landscape. However, the areas destined to this parameter have suffered a progressive reduction in the priority of preservation and management, both in consolidated areas and in urban expansion zones, highlighting the need to reinforce/recreate tools aimed at the regulation of this parameter in urban legislation. Therefore, this research proposes a system of tools called Indicators for Urban Green (IVU), defined as a computational implementation of indicators that, by means of an algorithmic-parametric approach, allows to establish the existing correlation between the parameters of built density and vegetated density. To validate the proposed system, IVU was applied in hypothetical and real tests, the latter being carried out in the Altiplano Cabo Branco neighborhood (João Pessoa - PB - Brazil). The values calculated in hypothetical situations served as a basis for forwarding the application of IVU in real situations, whose results could be compared with microclimate data from the city of João Pessoa (Ribeiro, 2014). It is hoped that the methodology proposed by the Indicators for Urban Green (IVU) can help provide data of fundamental importance to achieve greater levels of easing the climatic rigor that gradually affects large urban centers, as well as contributing to the promotion of implementation more equitable and environmentally qualified measures.

KEYWORDS: urban green; vegetated density; built density; computational implementation.

How to cite this article:

NEVES, T. B. S., LABAKI, L. C.. Proposição para um modelo de implementação computacional: Indicadores para o Verde Urbano (IVU). *Gestão & Tecnologia de Projetos*. São Carlos, v17, n1, Ano 2022. <https://doi.org/10.11606/gtp.v17i1.183799>

¹Universidade Federal da Paraíba – UFPB

²Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP

Fonte de Financiamento:
Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Conflito de Interesse:
Declara não haver.

Ética em Pesquisa:
Declara não haver necessidade.

Submetido em: 05/04/2021
Aceito em: 17/08/2021



INTRODUÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO

A vegetação urbana é considerada como um valioso recurso natural de mitigação dos efeitos das alterações climáticas (SPANGENBERG, 2009). A primazia do incremento da “massa verde”, devidamente entremeada ao espaço urbano, se caracteriza como forte influenciador aos níveis de conforto dos habitantes, assim como promotor de vários benefícios para a qualidade ambiental urbana (LABAKI et al., 2011).

Ao observar-se questões urbanas como o processo de adensamento construtivo das cidades e da gestão e planejamento do solo, torna-se fundamental promover uma maior preocupação com seus impactos (gradativamente irreversíveis) à qualidade ambiental e escala climática das cidades. A importância vital do “verde urbano” se revela na medida que este se apresenta, sob forma densa e espalhada, em várias porções na malha urbana, de maneira que esteja proporcional aos adensamentos edificados, tendo em vista o equilíbrio ambiental cidadão. Bem como, a abertura e exploração de meios de análise do espaço urbano, veiculadas por ferramentas que promovam dinamicidade, qualidade para visualização de cenários e manipulação paramétrica de dados.

Portanto, o objetivo geral deste artigo visa investigar e estabelecer uma relação de proporção de parâmetros urbanísticos comprovadamente influenciadores na escala climática da urbe, sendo estes os de densidade e vegetação urbanas, se utilizando de recursos computacionais que seguem a linha da lógica algorítmica e modelagem paramétrica. Em específico, propõe-se o sistema de ferramentas Indicadores para o Verde Urbano (IVU), cuja composição estruturase na formulação de dois indicadores (IDVAT e IDVDC), que tanto podem mensurar e ponderar a quantidade de adensamento vegetado, como correlacioná-lo com a do adensamento construído quantificado de uma determinada delimitação urbana.

Segundo Dempsey et al. (2009), a densidade é um termo complexo que se interrelaciona com outras dimensões urbanas. Está inserida como uma das características não-físicas constituintes da forma urbana, sendo as demais definidas como: tamanho, escala, uso do solo, tipos de construção, layout de blocos urbanos e distribuição de espaços verdes.

Em função da quantificação de um determinado tipo de densidade, o conjunto de ferramentas *Spacematrix* (BERGHAUSER-PONT E HAUPT, 2009), foi formulado com o intuito de auxiliar a estabelecer uma relação proporcional de um programa construído à forma urbana e outras performances. Desta maneira, é possível fornecer indicadores primários e derivados que, ao serem calculados, permitem compreender a tipologia da forma urbana predominante e a densidade das vias de acesso, assim como outros parâmetros de avaliação de desempenho como acesso à luz do dia, estacionamento e privacidade. Os indicadores primários são: FSI (*Floor Space Index*), equivalente ao “coeficiente de aproveitamento” na legislação brasileira, indicado para mensurar e avaliar o atributo “densidade construída” relacionando proporcionalmente o valor de área total construída pela área de estudo; GSI (*Ground Space Index*), equivalente à “taxa de ocupação” na legislação brasileira, que aponta a relação entre espaços construídos e não-construídos com toda a área de estudo; N (*Network Density*), se refere ao que se tem de vias de fluxo presentes no recorte.

Estudos comprovam que as cidades compactas apresentam uma grande vantagem no que tange aos quesitos de eficiência do uso do solo, otimização do transporte público e urbanidade (NEWMAN e KENWORTHY, 1989; CHURCHMAN, 1999; DEMPSEY et al., 2009). Em contrapartida, a maximização do solo urbano pode gerar uma congestão urbana, supressão de áreas livres para recreação e verde, segregação social em detrimento da supervalorização do solo (MIANA, 2010). O adensamento construtivo urbano possui um alto fator de influência na escala climáticas das cidades, determinando o surgimento de microclimas regionais (DUARTE,

2010), e contribuindo para um fenômeno registrado em áreas densamente construídas e com pouca vegetação, as “ilhas de calor” (GARTLAND, 2010).

A questão posta é que, independentemente da forma de adensamento, é notório que as mudanças climáticas registradas nas últimas décadas, são uma realidade palpável, principalmente quando se é observada a expansão urbana de modo compacto. Portanto, faz-se necessário que se fomente a inserção da análise de dados relacionados às questões ambientais em paralelo ao uso e ocupação do solo, no que tange ao modo de planejamento e gestão urbana.

A cobertura vegetal das cidades possui extrema importância no equilíbrio do clima e biofilia do ambiente urbano. Entretanto, tem sofrido com a redução dos espaços a ela destinados, em vista de uma expansão urbana marcada mais pela dinâmica incisiva do mercado imobiliário do que pela devida regulação do solo urbano (DUARTE, 2000; ANDRADE, 2005; MIANA, 2010; BARGOS e MATIAS, 2012; MATOS et al., 2016).

Peixoto et al. (1999 apud LABAKI et al., 2011) definem como “densidade” a relação que um elemento arbóreo tem com relação ao outro, e a “disposição dos indivíduos” identifica como as árvores estão adensadas, numa visão mais genérica do conjunto (figura 1). As formas como elas estão dispostas na malha urbana podem influenciar em parâmetros urbanísticos como os relacionados ao parâmetro do clima urbano (LABAKI et al., 2011). Diante desta afirmação, nesta pesquisa o termo “densidade vegetada” estabelece-se como a massa vegetada presente em uma perimetral urbana, considerando a área ocupada e a forma de agrupamento dos elementos arbóreos.



Figura 1. Croqui esquemático das formas de agrupamento arbóreo.

Fonte: Peixoto et al. (1995 apud LABAKI et al., 2011).

A superfície urbanizada coberta por vegetação pode ser quantificada por meio de índices que servem de parâmetros para qualificação do ambiente urbano (NUCCI, 2008). No que tange à quantificação da cobertura vegetal, alguns autores recorrem à formulação de índices, que correlacionam dados quantitativos de áreas verdes (espaços livres públicos/privados) ou dos elementos arbóreos e os relacionam com a quantidade de habitantes por m² (ROSSET, 2005; HARDER et al., 2006; CALLEJAS et al., 2012; ARAÚJO e FERREIRA, 2014).

Tendo em vista o levantamento bibliográfico estabelecido para esta pesquisa, é possível observar a ausência, ou ínfima citação, de um conjunto padrão de índices de quantificação e análise de áreas verdes urbanas. Os índices mais utilizados nas produções acadêmicas são originais ou derivados de outros mais simplificados, além de outros mais que vão sendo formulados de acordo com a necessidade de se comprovar a tese de algum estudo. Entretanto, é fundamental, neste momento, citar pesquisas mais recentes que apresentam novos meios de análise de parâmetros de volume construído e vegetado de uma determinada região urbana.

Visando contribuir para área de planejamento e gerenciamento do solo urbano, Freitas & Moura (2017) propõem uma metodologia de análise espacial integrando o ambiente de

trabalho do SIG (Sistema de Informação Geográfica) ao emprego de lógica de banco de dados espaciais e ferramentas ETL (extração, transformação e carga). Para comprovação da tese, aplicaram a metodologia proposta em um estudo na região da Pampulha (Belo Horizonte – MG – Brasil), analisando os volumes vegetados por meio de capturas altimétricas do LiDAR. Eles concluíram que a utilização do base de dados criada permitiu gerar resultados mais rápidos do que com softwares mais comuns que se utilizam do SIG, como o ArcGIS. Os autores ainda afirmam que “(...) junto com a ferramenta ETL, os ganhos na organização e utilização dos dados, pontuais ou de big data, estruturados ou não, são promissores para a criação de infraestruturas de dados espaciais que possam fornecer entradas de dados para as mais diversas ferramentas de análise e gestão territorial.” (FREITAS; MOURA, 2017).

Seguindo a mesma linha de pensamento do artigo citado acima, Sena et al. (2018) propõem utilizar o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) associado ao LiDAR com o intuito a cobertura vegetal urbana e as transformações das paisagens edificadas, aplicando a metodologia proposta também na região da Pampulha (Belo Horizonte – MG – Brasil). Os autores propõem que tais dados poderiam ser utilizados na condução de ações legislativas, como a autorização de instrumentos (como a Outorga Onerosa do Direito de Construir, dentre outros) de negociação volumétrica no uso do solo urbano que podem considerar a capacidade de transformação de uma área segundo o equilíbrio volumétrico das paisagens.

O controle legislativo das áreas verdes urbanas se incorpora na medida em que se utiliza mais de um índice, de modo que apontem dados da situação real da qualidade de vida e ambiental. Logo, não somente relacionar a quantidade de áreas verdes com os dados de número de habitantes, como os índices mais utilizados por planejadores urbanos apontam, porém, em vista de objetivos como a amenização dos microclimas urbanos e conservação das árvores de solo público, considerar os dados de cobertura vegetal tendo em vista o adensamento da mesma.

A aceleração da troca de informações com o passar das décadas detém um papel fundamental haja vista o avanço da tecnologia em paralelo ao processo de crescimento das cidades em expansão populacional e/ou territorial. Diante da necessidade de um planejamento urbano mais eficiente, no que tange à análise dos cenários para tomadas de decisões, o *City Information Modeling (CIM)* apresenta-se como parte da proposta de ferramentas voltadas para estudos urbanos que facilitam a manipulação paramétrica de quesitos urbanos sob uma abordagem multi-cenários. Em termos simples, o CIM é o BIM do urbanismo, e pode ser considerado como “uma abordagem computacional que mensura indicadores e visualiza em cenários as decisões de planejamento – incluindo a adoção de parâmetros urbanísticos – ao longo do processo” (AMORIM, 2015).

A leitura de formas urbanas por meio de padrões de comportamento é uma linha de análise observada nas produções de ALEXANDER (1964), nas quais o autor afirma que a cidade pode ser enxergada como um grande sistema complexo embutida de uma coleção de pequenos sistemas, como um conjunto de elementos de um sistema, com elementos mutáveis e imutáveis, podendo ser interpretada pela lógica matemática, em arranjos *semilattice*¹ ou em árvore.

O termo paramétrico, em suma, recebe uma maior notoriedade a partir das reflexões publicadas por Patrick Schumacher (Zaha Hadid Architects), ao observar que identificar padrões de arquitetura pode fornecer um dos dispositivos mais potentes para a articulação

¹ Quando dois conjuntos sobrepostos pertencerem à coleção, o conjunto de elementos comuns a ambos também pertence à coleção.

arquitetônica, podendo proporcionar formas ornamentais dinâmicas e de alto desempenho (SCHUMACHER, 2009).

Kolarevic (2004) explana que, na produção contemporânea da arquitetura, o designer, ao invés de projetar diretamente a forma final, é capaz de articular um sistema generativo – por meio da elaboração de uma sequência de algoritmos – e produzir, automaticamente, uma gama de possibilidades para o desenvolvimento posterior. A abordagem paramétrica aplicada ao projeto apresenta maiores vantagens em relação às técnicas convencionais de projeto, de modo que este fique “aberto” para modificações um número x de vezes, por profissionais variados (STEINØ e VERU, 2005).

O termo “algorítmico-paramétrico” designa, dentro do contexto desta pesquisa, uma forma de referência à metodologia aplicada para servir como suporte para análises de variáveis, bem como, por meio do uso de recursos computacionais, possibilitar sua análise a partir da elaboração de ferramentas de linha algorítmica desenvolvidas em um programa de modelagem, como é o caso do software *Rhinoceros* associado ao plugin *Grasshopper*.

Atualmente, algumas metodologias são relevantes no que diz respeito à inovação no modo de análise urbana, como o *CityZoom* (TURKIENICZ et al., 2008) e, em especial, o *CityMetrics* (LIMA, 2017), cuja premissa é apresentar a possibilidade de investigar variáveis urbanísticas baseadas no princípio do DOT (Desenvolvimento Orientado pelo Trânsito) – *TOD (Transit Oriented Development)* – idealizado por Farr (2013), se utilizando de ferramentas computacionais que apresentam sua essência sob a lógica algorítmica e a modelagem paramétrica, com o enfoque sobre os parâmetros de: caminhabilidade; acesso a serviços (comércio, institucional, transporte); uso misto das edificações (uso comercial e residencial integrados, e não setorializados); uso dos indicadores *Spacematrix* para mensuração da densidade (edificada e de rede viária).

METODOLOGIA

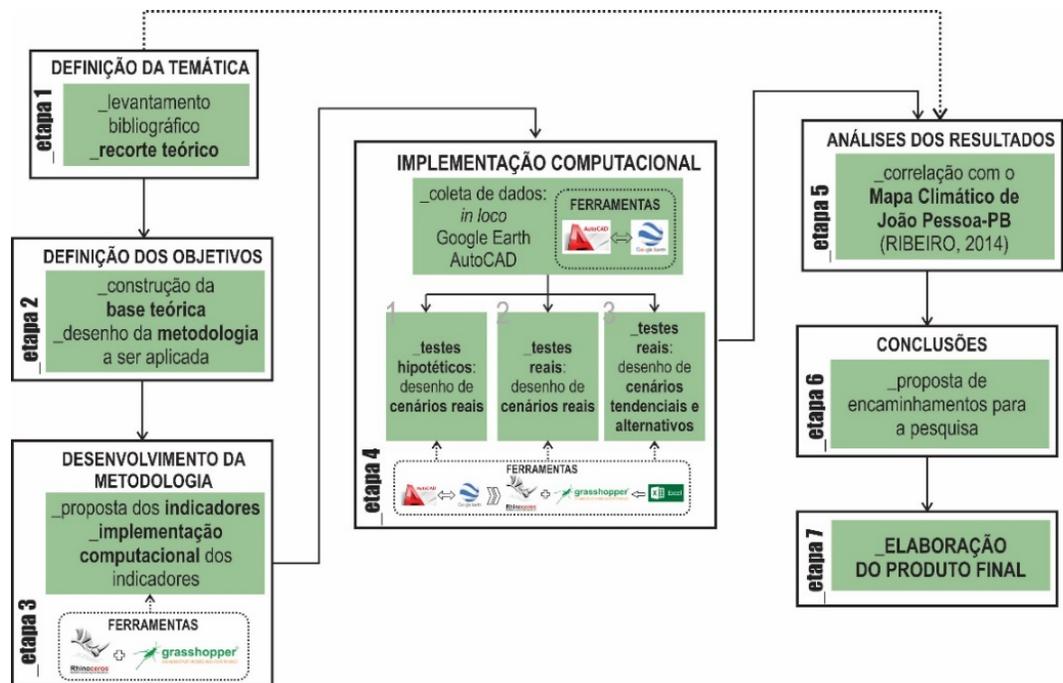
Esta pesquisa debruça-se sobre a proposição de indicadores que se fundamentam em algumas outras investigações que seguiram um viés semelhante, como o modelo empírico de cálculo de proporção entre padrões de ocupação do solo e superfícies verde e de água formulado por Duarte (2000), os índices de áreas verdes formulados para quantificação de cobertura vegetal (HENKE-OLIVEIRA, 1996; HARDER et al., 2005; ROSSET, 2005; CALLEJAS et al., 2012; ARAÚJO e FERREIRA, 2014) e a proposição de instrumentos computacionais para análises urbanas (DUARTE, 2017). Por conseguinte, buscou-se encontrar uma forma de mensuração das variáveis de enfoque, por meio de uma implementação computacional estruturada sobre a lógica algorítmico-paramétrica, no intuito de que se possa corroborar nas formas de tomadas de decisão durante o processo de planejamento urbano, baseando-se na pesquisa de Lima (2017).

A premissa básica para a definição dos indicadores é de que forneçam dados acerca da distribuição da massa arbórea e sua relação proporcional com massa edificada a partir de duas perspectivas:

- Proporção de densidade vegetada por área total de estudo;
- Proporção de densidade vegetada por densidade construída.

Figura 2. Diagrama ilustrativo com os procedimentos metodológicos da pesquisa.

Fonte: NEVES (2020).



PROPOSTA DOS INDICADORES: IDVAT E IDVDC

IDVAT: Indicador de Densidade Vegetada por Área Total

O primeiro índice proposto é o Indicador de Densidade Vegetada por Área Total (IDVAT), que estabelece uma relação proporcional e ponderada dos adensamentos vegetados presentes na área, de acordo com sua escala de influência na mitigação dos microclimas urbanos. O intuito primordial deste indicador é apresentar a proporção existente de densidade vegetada dentro de uma região urbana delimitada. Indica-se não somente contabilizar a quantidade de cobertura vegetal presente, como também, propor ponderá-las de acordo com o tipo arbóreo predominante em cada uma (equação 1). Sendo assim, a proporção torna-se mais justa mediante a premissa da significância, que adensamentos arbóreos de grande porte são os mais importantes para promover sombreamento e amenização das temperaturas (ABREU e LABAKI, 2010; LABAKI et al., 2011; SILVA et al., 2015).

O IDVAT permite a identificação da quantidade da porção existente de verde em relação ao tamanho do recorte. Pode ser aplicado em várias escalas, desde a quadra até o bairro ou recortes maiores, dependendo do objetivo que o interlocutor (planejador/urbanista/pesquisador) espera investigar.

As Áreas Verdes (AV's) a serem consideradas são as que tenham expressividade de cobertura vegetal. As tipologias das AV's podem ser encontradas em domínios:

- **Públicas**: praças, bosques, parque, APA's (Áreas de Preservação Ambiental), cinturões verdes, bosques, quintais, canteiros, tetos e paredes vegetadas.
- **Privadas**: praças, bosques, quintais, tetos e paredes vegetadas.

$$IDVAT = \frac{(\sum AV's \text{ tipo } A \times p_x) + (\sum AV's \text{ tipo } B \times p_y) + (\sum AV's \text{ tipo } C \times p_z)}{\text{Área Total do Recorte Urbano}}$$

Equação 1

Onde:

AV = Área Verde

p = peso atribuído ao tipo de predominância arbórea

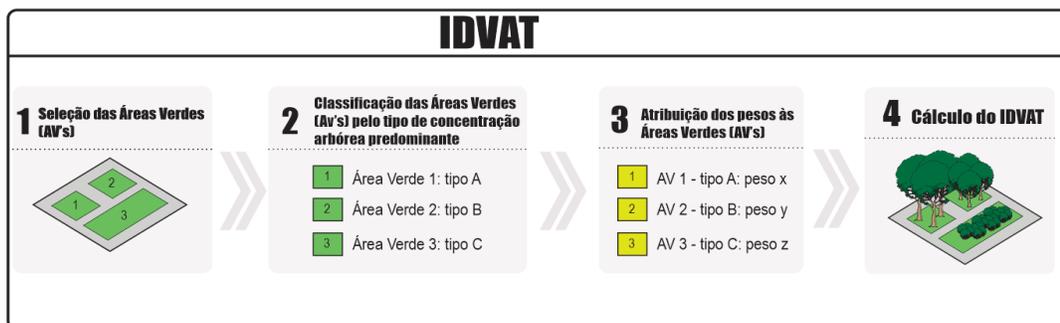


Figura 3. Esquema de cálculo do Indicador de Densidade Vegetada por Área Total (IDVAT).

Fonte: Autoras (2021).

TIPOS DE CONCENTRAÇÃO ARBÓREA	PORTE	TIPOS ARBÓREOS E ALTURA ESTIMADA	TIPOLOGIA DA COPA
	PEQUENO	Rasteira; Arbustiva baixa	Não gera sombreamento
	MÉDIO	Arbustiva alta; Árvores com até aprox. 5 a 6 metros de altura	Não gera sombreamento suficiente para o pedestre
	GRANDE	Árvores maiores que 7 metros de altura (aprox.)	Gera sombreamento suficiente para o pedestre

Tabela 1. Tipos de concentrações arbóreas consideradas para o IDVAT.

Fonte: Autoras (2021).

Após a classificação, as AV's são ponderadas de acordo com a predominância arbórea em seus espaços (pelo motivo já citado no início deste subtópico). O peso atribuído às AV's indica a expressividade do tipo de cobertura vegetal selecionado. Caporusso e Matias (2008) indicam a necessidade de metodologias que apliquem pesos às variáveis conforme sua influência positiva na qualidade ambiental urbana. Baseando-se na forma de atribuição de peso a parâmetros urbanísticos nas pesquisas de Henke-Oliveira (1996), Benini (2009), Félix et al. (2018) e Ferreira (2019), estabeleceu-se, portanto, três pesos para cada tipo de concentração e sua escala de influência aos microclimas urbanos de maneira que, somados, equivalham a um. São estes:

- **Predominância arbórea tipo A:** peso 0.6;
- **Predominância arbórea tipo B:** peso 0.3;
- **Predominância arbórea tipo C:** peso 0.1.

Ao final do processo de cálculo, é possível se obter a proporção de densidade vegetada em relação à área de estudo. O IDVAT pode ser utilizado de maneira única, para ser associado a

outros indicadores/índices existentes ou como dado de entrada do próximo indicador proposto.

IDVDC: Indicador de Densidade Vegetada por Densidade Construída

Para considerar a proporção do verde quantificado pela densidade construída, é proposto como segundo índice o Indicador de Densidade Vegetada por Densidade Construída (IDVDC), que permite correlacionar os dados de densidade construída aos de densidade vegetada em um dado espaço urbano. O IDVDC tem por base o modelo empírico formulado por Duarte (2000), no qual a autora estabeleceu um índice considerando dados de densidade construída em proporção à quantidade de cobertura vegetal e corpos d'água.

Este indicador pretende focar em apontar quantitativamente a proporção existente entre o adensamento construtivo e o vegetado de um dado recorte urbano, e complementar os dados fornecidos pelo IDVAT. Desta forma, acredita-se que os dois indicadores propostas possam obter relevância acadêmica, contribuindo para pesquisas com temáticas voltadas ára climatologia, cobertura vegetal e tecnologias aplicadas ao modo de produção e gestão do solo urbano. Assim como, no âmbito legislativo, como um ferramentas que auxilie no processo de tomadas de decisões para análise de expansão urbana, com enfoque em variáveis de uso e ocupação do solo e vegetação urbana.

O método de cálculo para se obter o IDVDC, considera como primeiro parâmetro o FSI. Associando-se ao segundo parâmetro, se aplica o valor do IDVAT encontrado anteriormente. Nesse caso, o IDVDC é uma variável dependente do IDVAT, como é apresentado nas fórmulas a seguir:

Equação 2

$$FSI = \frac{\sum \text{Área Construída Total}}{\text{Área Total do Recorte Urbano}}$$

Equação 3

$$IDVDC = \frac{IDVAT}{FSI}$$

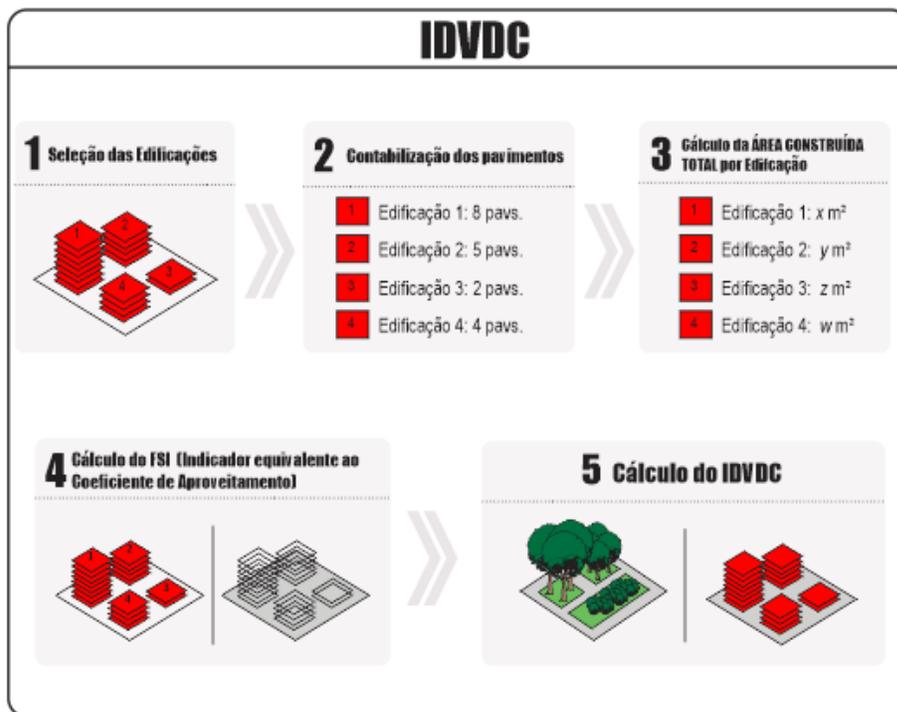


Figura 4. Esquema de cálculo do Indicador de Densidade Vegetada por Densidade Construída (IDVDC).

Fonte: Autoras (2021).

ESTRATÉGIAS COMPUTACIONAIS ADOTADAS E FORMULAÇÃO DO CONJUNTO DE FERRAMENTAS INDICADORES PARA O VERDE URBANO (IVU)

A implementação computacional dos indicadores propostos nesta pesquisa se baseou em uma linha de pensamento que norteou todo o processo de elaboração ferramental, adotando-se da lógica algorítmica e da modelagem paramétrica e, dentro da mesma, utilizando-se de conceitos como a Linguagem de Programação Visual (LVP) – *Visual Programming Language (VPL)* – e Sistemas Generativos (SG) – *Generative Systems (GS)*.

A forma de se programar um sistema pode ser elaborada tanto por linguagem textual e simplificada, como por meio do uso do Python (CALEUM, 2019), como pode ser por linguagem visual, como por meio do uso do Grasshopper (GRASSHOPPER, 2019). As capacidades paramétricas deste *plugin* mencionado permitem a geração e modificação do projeto simplesmente alterando parâmetros, evitando a necessidade de reescrever quantidades substanciais de código (OXMAN, 2017 apud LIMA et al. [orgs.], 2019).

A Linguagem de Programação Visual (LVP) é definida, de acordo com Lima (2017), como uma interface mais simplificada para programação por meio do uso de comandos arranjados visualmente para transmitir uma função-objetivo. O uso do sistema *box-and-wire* caracteriza a linguagem visual que permite a organização hierárquica dos elementos, podendo ser digitado o código em determinados momentos (CELANI e VAZ, 2012).

Os Sistemas Generativos (SG) são um meio pelo qual se busca solucionar problemáticas similares em diversos tipos de situações (CELANI, 2011). Em suma, o sistema generativo permite que se crie um projeto mais genérico para que se possa, a partir deste, encontrar soluções para contextos distintos. Ao se permitir gerar várias soluções, esse modo de projeto/análise pode ser utilizado com a função de otimização (convergência) ou variedade

(divergência) (CELANI, 2011). O procedimento metodológico dos sistemas generativos possui sequências de instruções chamadas de algoritmo ou estratégias algorítmicas.

Portanto, propõe-se a formulação do **Indicadores para o Verde Urbano (IVU)**, definido como um conjunto de ferramentas, composto por dois indicadores (IDVAT e IDVDC), desenvolvido para avaliação de cenários urbanos quanto a correlação de variáveis urbanas específicas, de maneira que se estrutura em ferramentas algorítmicas construídas em uma sequência lógica, proporcionando um ambiente dinâmico de programação e compartilhamento do código.

PROCEDIMENTO DE USO – INDICADORES PARA O VERDE URBANO (IVU)

Inicialmente, para o processo de implementação computacional foram escolhidos os programas *Rhinoceros* associado ao uso do plugin *Grasshopper*, pelos motivos já explanados nas subseções anteriores desta pesquisa. Ademais, os programas AutoCAD, Google Earth, Microsoft Excel também subsidiam o procedimento de implementação, sendo este dividido basicamente em dois momentos. Em uma primeira etapa, inicia-se ao observar e selecionar o recorte de estudo pelo Google Earth. Em seguida, é preciso obter a base cartográfica da cidade escolhida, disponibilizada pelo órgão de administração pública pertinente (geralmente, disponível pela Secretaria de Geoprocessamento urbano do município). Assim, é possível a sobreposição da imagem da área ao desenho da mesma no AutoCAD, para que sejam locados as polilinhas das edificações no lote, no caso de base cartográficas que não as possuam locadas nos lotes. Por conseguinte, executa-se o processo de indicação, ainda no AutoCAD, do número de pavimentos para cada edificação, por meio de levantamentos in loco e/ou pelo Google Earth e Google Street View. Desta forma, é possível calcular o FSI, indicador necessário à formulação do IDVDC. Indica-se que o número de pavimentos seja escrito no centro de cada edificação para facilitar passos definidos na próxima etapa.

A segunda etapa é dedicada à exportação da base cartográfica atualizada ao *Rhinoceros*, e aplicação do conjunto de ferramentas por meio do *Grasshopper*. O IVU disponibilizará um algoritmo padrão para que seja adequado a cada realidade urbana (figura 7). Os dados de entrada a serem trabalhados no procedimento de implementação são estes:

- **A_{TOTAL}**: todo o perímetro de estudo é considerado como Área Total;
- **AV_{TOTAL}**: área vegetada total selecionada (em m²) em domínios públicos e privados;
- **AV_{TOTAL TIPO A}**: total de área vegetada do tipo A;
- **AV_{TOTAL TIPO B}**: total de área vegetada do tipo B;
- **AV_{TOTAL TIPO C}**: total de área vegetada do tipo C.

Os dados acima, após serem combinados, são capazes de gerar: o IDVAT; os indicadores formulados por Berghauser-Pont e Haupt (2009), implementados computacionalmente por Lima (2017), dos quais utilizar-se-á apenas o FSI; e o IDVDC.

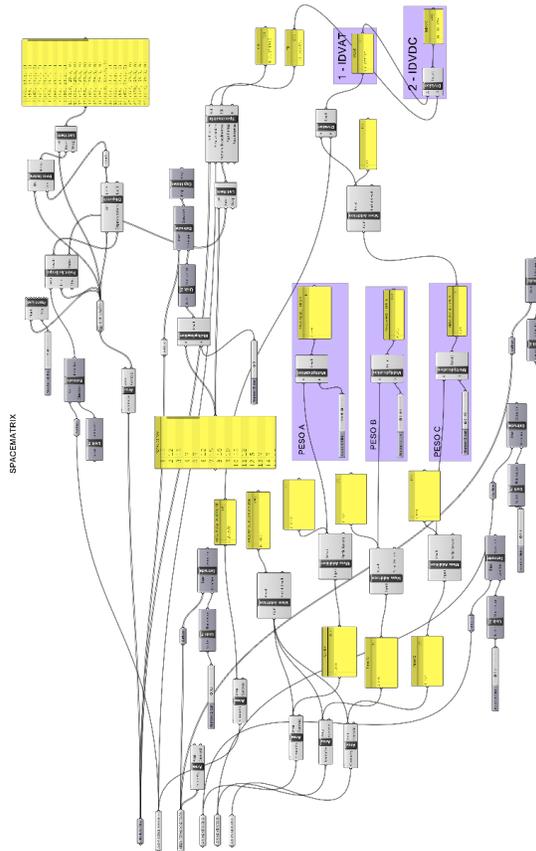
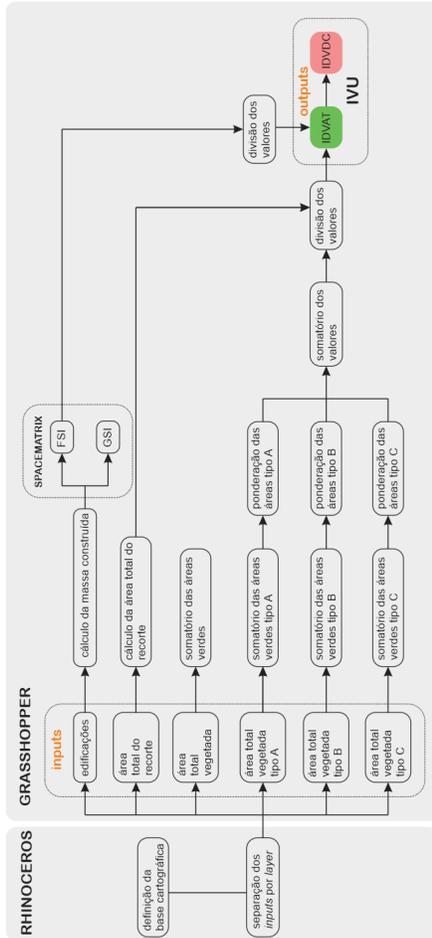


Figura 5. Algoritmo elaborado no Grasshopper para implementação do IVU / Fluxograma esquemático do IVU

Fonte: Autoras (2021).

ENSAIO PRELIMINAR: TESTES HIPOTÉTICOS

Para validação interna do IVU, elaboraram-se dois testes em recortes urbanos hipotéticos. Os Testes Hipotéticos 1 e 2 foram desenhados com semelhante malha urbana, denominados de “situação de baixa densidade construída” e de “situação de alta densidade construída”.

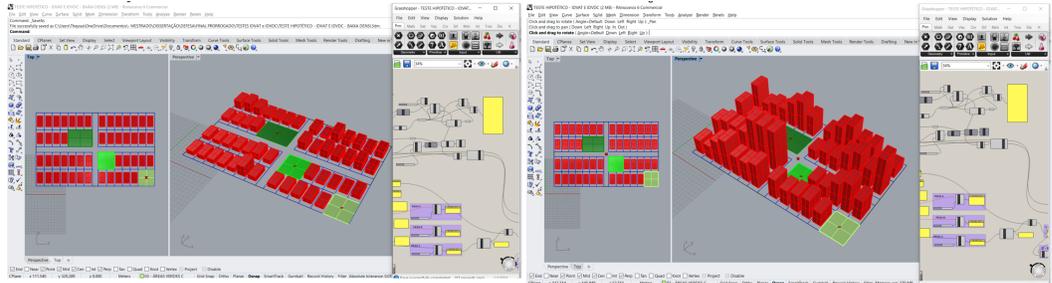
A primeira situação hipotética é de um recorte urbano de aproximadamente 2,7 ha (figura 6) (tabela 2), no qual se estabeleceu um parcelário urbano quase simétrico, com edificações soltas no lote (recuos iguais de 2 metros) e locou-se três áreas verdes. Para validação, elaborou-se quatro sub-testes: o primeiro considerou apenas as áreas vegetadas com predominância arbórea do tipo A, no segundo, toda tipo B, no terceiro todas tipo C, no quarto os tipos A, B e C. Vale ressaltar que este teste foi esboçado de modo que predominasse um adensamento construtivo baixo (coeficiente de aproveitamento baixo dos lotes), no qual o número de pavimentos foi limitado a cinco.

Por conseguinte, traçou-se a segunda situação hipotética, que é o mesmo recorte urbano anterior (figura 7) (tabela 2), com o mesmo parcelário quase simétrico, edificações soltas no lote (recuos iguais de 2 metros) e as três áreas verdes. Da mesma forma, para validação, elaborou-se quatro sub-testes, nos quais o primeiro considerou apenas as áreas vegetadas com predominância arbórea do tipo A, no segundo, todas tipo B, no terceiro todas tipo C, no quarto com tipos A, B e C. O Teste Hipotético 2 se contrapõe ao 1 pois considerou-se uma situação

predominante de adensamento construtivo alto (coeficiente de aproveitamento alto dos lotes), na qual aplicou-se o número de pavimentos limitados entre 5 e 20 andares.

Figuras 6 e 7. Foto de Tela Teste Hipotético 1 e 2, respectivamente.

Fonte: Autoras (2021).



LEGENDA			
	Edificações existentes		Áreas Verdes tipo A
	Áreas Verdes tipo B		Áreas Verdes tipo C

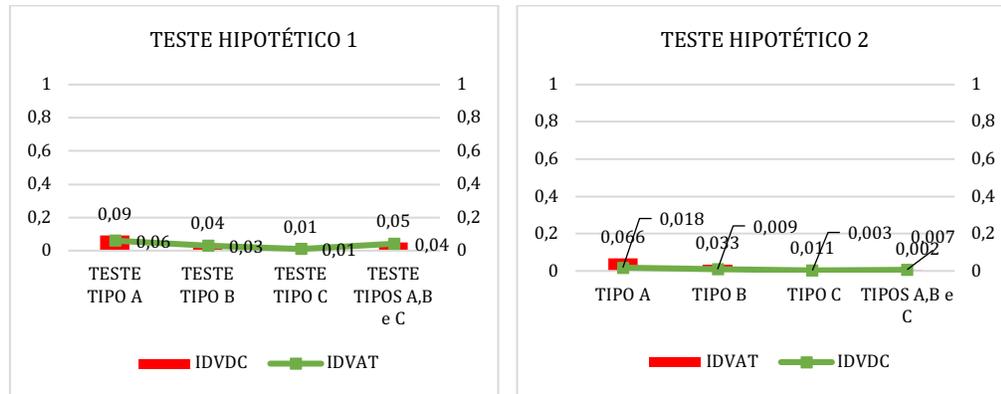
Tabela 2. Valores IVU formulados nos Testes Hipotéticos.

Fonte: Autoras (2021).

ESTE HIPOTÉTICO 1 – CENÁRIO REAL						
INPUTS PRIMÁRIOS					OUTPUT	OUTPUT/ INPUT SECUN.
ÁREA TOTAL DO RECORTE (em ha)	ÁREA TOTAL VEGETADA (em ha)	ÁREA VEGETADA TIPO A (em ha)	ÁREA VEGETADA TIPO B (em ha)	ÁREA VEGETADA TIPO C (em ha)	GSI	FSI
2,7	0,30	0,12	0,08	0,08	0,35	0,70
OUTPUTS						
	TESTE COM TIPO A	TESTE COM TIPO B	TESTE COM TIPO C	TESTE COM TIPOS A, B e C		
IDVAT	0,06	0,03	0,01	0,04		
IDVDC	0,09	0,04	0,01	0,05		
TESTE HIPOTÉTICO 2 – CENÁRIO REAL						
INPUTS PRIMÁRIOS					OUTPUT	OUTPUT/ INPUT SECUN.
ÁREA TOTAL DO RECORTE (em ha)	ÁREA TOTAL VEGETADA (em ha)	ÁREA VEGETADA TIPO A (em ha)	ÁREA VEGETADA TIPO B (em ha)	ÁREA VEGETADA TIPO C (em ha)	GSI	FSI
2,7	0,12	0,12	0,08	0,08	0,35	3,54
OUTPUTS						
	TESTE COM TIPO A	TESTE COM TIPO B	TESTE COM TIPO C	TESTE COM TIPOS A, B e C		
IDVAT	0,066	0,033	0,011	0,040		
IDVDC	0,018	0,009	0,003	0,007		

Os Testes Hipotéticos corroboraram para validar o procedimento estatístico e compreensão dos valores de IDVAT e IDVDC para duas situações urbanas distintas. Portanto, ao se comparar os valores em gráficos (gráficos 1 e 2), observou-se que incrementar a densidade construtiva e diminuir a densidade vegetada (do tipo A para tipo C) levou os valores dos indicadores a quase zero. Considerou-se a premissa de que cidades equitativamente adensadas (construção e vegetação) são mais propícias a diminuir seu impacto frente aos microclimas urbanos. Por se tratar de uma validação inicial em teste hipotético, preferiu-se prosseguir sobre a possibilidade de equidade entre os dois testes, e avaliou-se que para que o Teste 2 alcançasse os valores de IDVAT do Teste 1, seria preciso aumentar o tamanho das áreas destinadas ao

verde de modo que estas fossem estritamente do tipo A, com maciços arbóreos desejáveis para a mitigação do rigor climático das cidades.



Gráficos 1 e 2. Valores IVU formulados nos Testes Hipotéticos.

Fonte: Autoras (2021).

ENSAIO PRELIMINAR: TESTES REAIS

Neste momento, introduz-se o contexto urbano onde se inserem os Testes Reais para desenvolvimento e validação externa do IVU. O bairro Altiplano Cabo Branco, mais conhecido apenas como Altiplano, localiza-se na Zona Sul da cidade de João Pessoa – PB (Brasil) (figura 8), que, por sua vez, se localiza na Zona 8 no Mapa de Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ABNT, 2005), caracterizando-se como clima tropical quente e úmido. A localidade em questão faz limite com os bairros Portal do Sol, Castelo Branco, Miramar, Bancários e Cabo Branco, assim como é circundado por elementos naturais como a Falésia do Cabo Branco e o Rio Timbó. Tais limites, as características geográficas, sociais e edificadas da região apontam para um padrão de comportamento climático, apresentando temperaturas amenas com predominância de cargas térmicas baixas (figura 9).

A escolha do bairro tem relação com o fato da localidade em questão se encontrar, atualmente, em fase de adensamento urbano, com uso do solo predominantemente residencial, condomínios verticais e horizontais de alto padrão, loteamentos de alta, média e baixa renda, assim como edificações de uso comercial e institucional (FERNANDES, 2013) (figura 10).

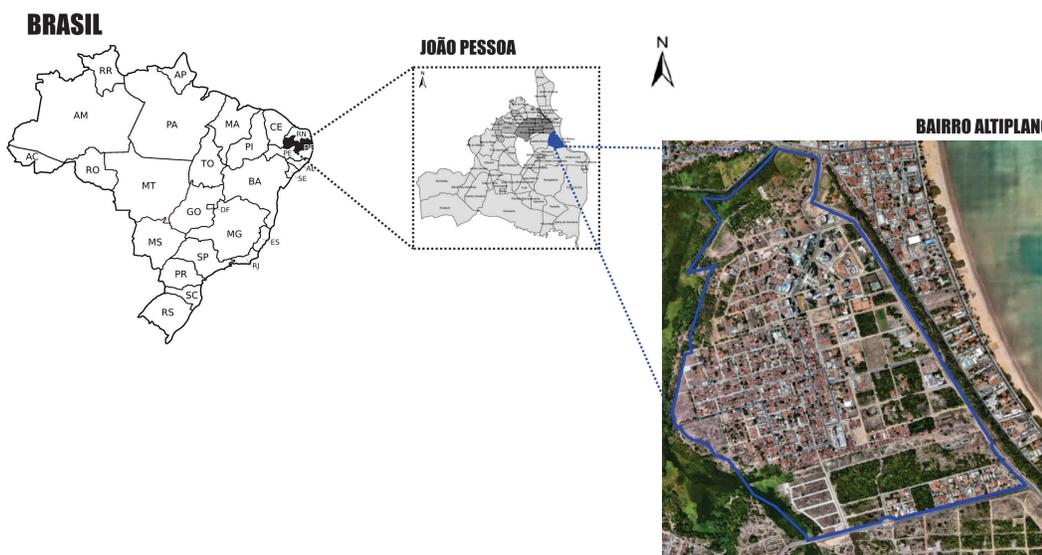


Figura 8. Localização do bairro Altiplano, na cidade de João Pessoa (PB).

Fonte: Autoras (2021).

Figura 9. Mapa de Análises Climáticas de João Pessoa, com destaque para o bairro Altiplano Cabo Branco.

Fonte: Adaptado de Ribeiro (2014).

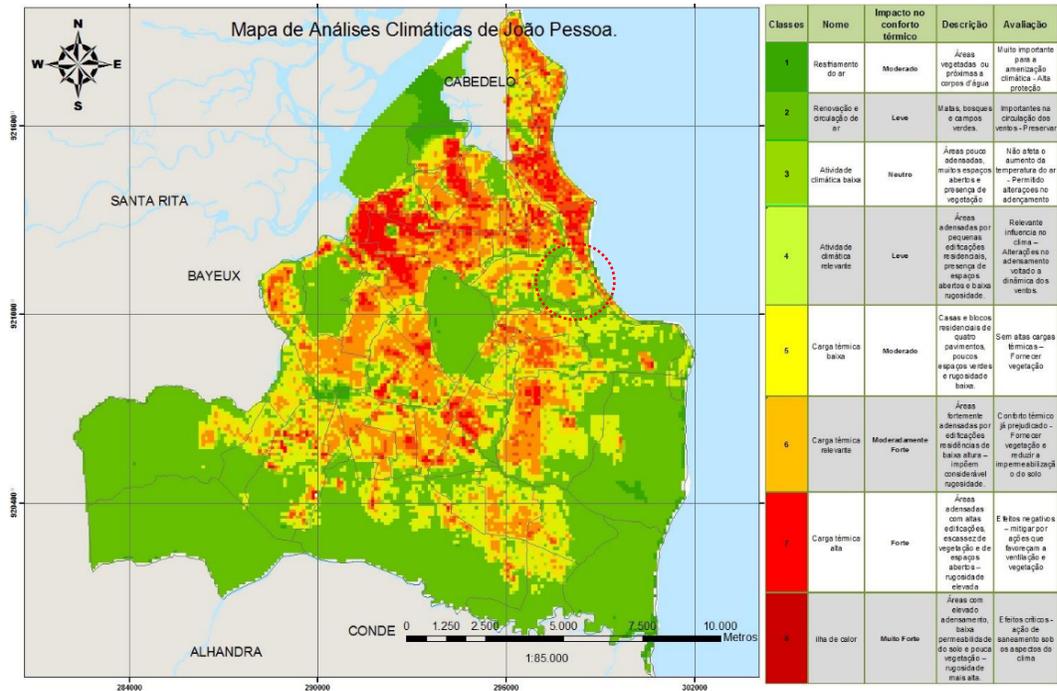
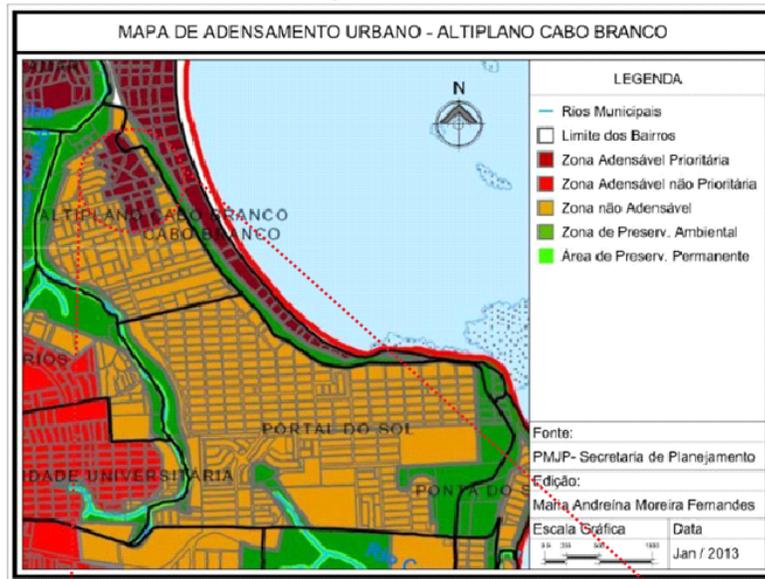


Figura 10. Mapa de adensamento do Altiplano e bairros circunvizinhos. As fotos apresentam algumas características da Zona Adensável Prioritárias.

Fonte: NEVES (2020) adaptado de Fernandez (2013).



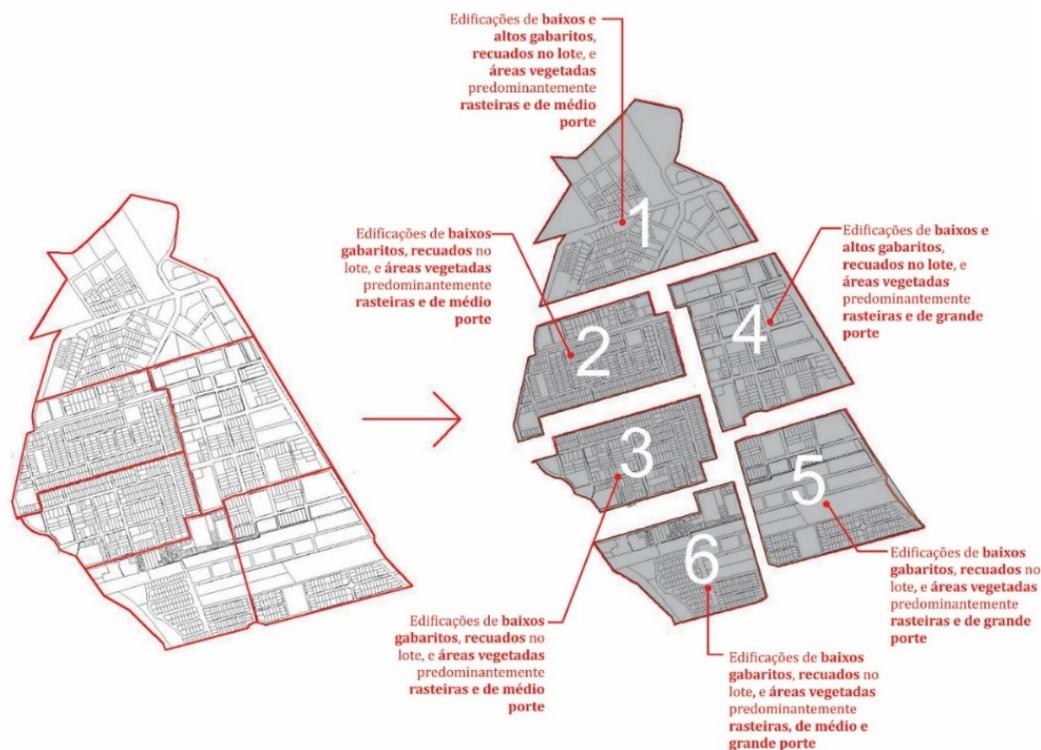


Figura 11. Esquema para a subdivisão do bairro para os Testes Reais.

Fonte: Autoras (2021).

Para facilitar a aplicação do IVU no bairro, seccionou-se, portanto, o Altiplano em 6 partes para o prosseguimento do estudo (figura 11).

O Altiplano 1 possui uma área total de 48,55 ha., das quais 23 ha., são de áreas vegetadas, na grande parte constituída de vegetação rasteira (19 ha.) (figura 12). Observa-se a predominância de um adensamento construtivo basicamente em 2 grupos: blocos pontuais com gabaritos entre 1 e 3 pavimentos; blocos pontuais com gabaritos entre 30 a 50 pavimentos. Estes padrões edilícios corroboram para a construção de uma paisagem edificada bastante discrepante visualmente nesse perímetro. Com uma mínima presença de maciços arbóreos do tipo A, o IDVAT encontrado mostrou-se baixo, se recordarmos dos Testes Hipotéticos, devido à alta proporção de vazios gramados. O IDVDC não apresentou valores tão baixos, como se esperava, pois, a área com concentração de massa edificada a detêm com recuos generosos na escala do lote, assim como o perímetro do Altiplano 1 possui áreas de vazio (tabela 3).

O Altiplano 2 compreende uma área total de 27 ha., dos quais apenas 6 ha. são de áreas vegetadas, na grande parte sendo constituída de vegetação rasteira (5 ha.) (figura 12). Predomina um adensamento construtivo basicamente de blocos pontuais com gabaritos entre 1 e 5 pavimentos, com exceção de 2 edificações de 36 andares, contribuindo para construção de uma área predominantemente residencial. As Áreas Vegetadas se espalham pelas bordas do perímetro de estudo, na maioria das vezes em terrenos não utilizados. Possui uma Área Verde com a presença de maciços arbóreos tipo A e atende a população do loteamento. O IDVAT mostrou-se próximo ao do valor encontrado no Altiplano 2 devido à predominância de áreas vegetadas tipo C, motivo para a baixa da média ponderada. O IDVDC diminuiu, em comparação ao Altiplano 2, devido a baixa dos gabaritos edilícios, e destes em relação ao adensamento vegetado baixo (tabela 3).

O Altiplano 3 segue a linha de adensamento construtivo da subárea anterior, apresentando extensão territorial 24,7 ha., entretanto com áreas destinadas ao verde apenas 3,8 ha.; dentre estas predominam a vegetação herbácea-arbórea e rasteira (figura 12). O padrão construtivo

também é de blocos pontuais com gabaritos entre 1 e 5 pavimentos, caracterizando uma área predominantemente residencial. As poucas Áreas Vegetadas se definem, basicamente, em vegetação rasteira de lotes não utilizados e de manchas de árvores de grande porte entremeadas nos lotes residenciais. O IDVAT mostrou-se próximo ao do Altiplano 2. O IDVDC diminuiu, em comparação ao Altiplano 2, em função da redução de cobertura vegetal de 6 para 3 ha. (tabela 3).

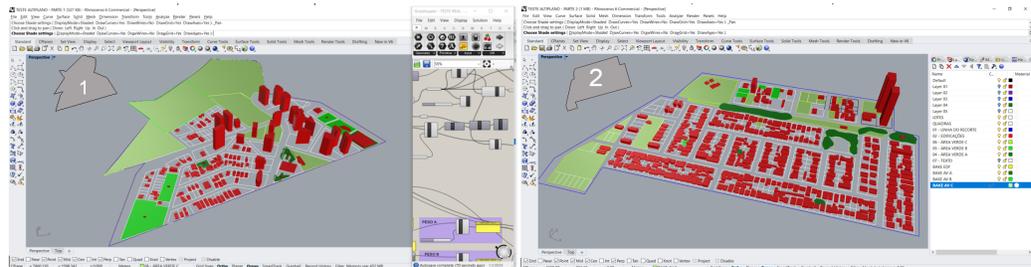
O Altiplano 4 segue a tendência construtiva do Altiplano 1, entretanto contém zona de preservação ambiental, motivo pelo qual se obtém, além dos 35,6 ha. de área total, 11ha. de cobertura vegetal, com 6,3 ha. de predominância arbórea tipo A (maior valor até o presente momento) (figura 12). Por ser, em parte, zona passível de adensamento, com quadras destinadas ao uso comercial e institucional, o padrão construtivo apresenta blocos pontuais com gabaritos entre 35 e 36 pavimentos, e longitudinais de até 3 pavimentos. As Áreas Vegetadas se definem, basicamente, em vegetação rasteira de lotes não utilizados e de quadras com predominância arbórea tipo A. Em relação aos outros estudos de caso, o aumento do IDVAT é devido à maior presença de maciços arbóreos. O incremento do IDVDC comprova a ideia de que quanto maior o IDVAT e o número de pavimento das edificações presentes, maiores valores o primeiro indicador apresenta (tabela 3).

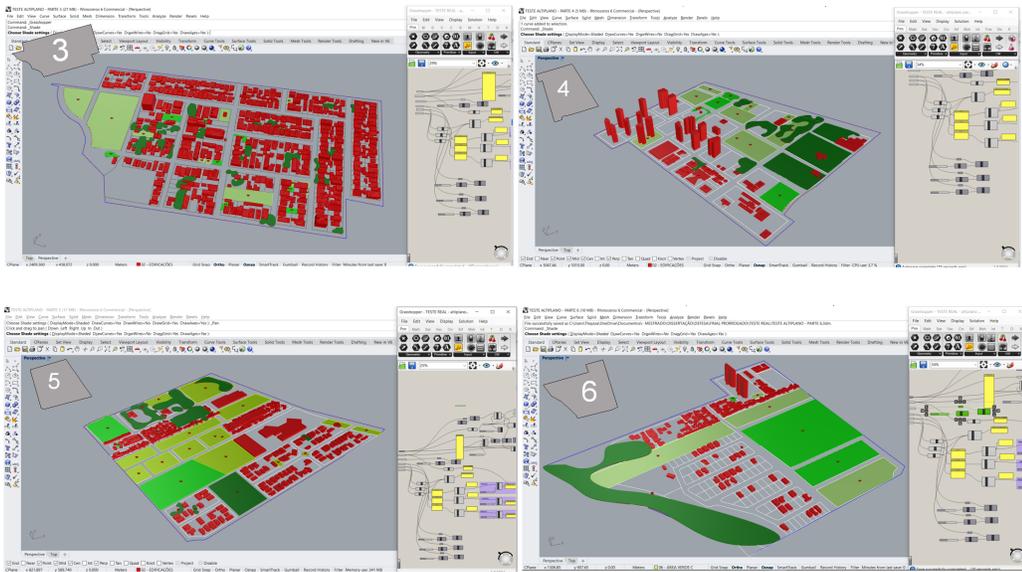
O Altiplano 5 é um perímetro do bairro no qual se encontram várias expressões sociais. Com uma área total de 36 ha., possui um padrão construtivo de blocos pontuais e blocos aglomerados (em situação de invasão) de no máximo 2 pavimentos, sendo apenas uma edificação voltada para o uso institucional, as demais são residenciais (figura 12). Nos 15,5 ha. destinados à cobertura vegetal, predomina mais a vegetação rasteira (aprox. 8 ha.) do que arborização de grande porte (aprox. 4 ha.) e vegetação arbustiva alta (aprox. 3 ha.). Em relação ao Altiplano 4, o IDVAT alcançou valor aproximado devido ao tamanho da área total e características das áreas vegetadas serem semelhantes. O IDVDC diminuiu devido ao padrão de número baixo de pavimentos.

Por fim, o Altiplano 6, mensurado em 26,5 ha. de extensão, no qual são 12,7 ha. de cobertura vegetal composta na maioria por agrupamentos verdes arbustivos altos e rasteiro em terrenos não utilizados e uma extensa faixa de maciços arbóreos tipo A na borda esquerda pertencente à Zona de Preservação Ambiental (figura 12). Registra-se uma densidade construtiva caracterizada por blocos pontuais de no máximo 2 pavimentos, blocos aglomerados (em situação de invasão) que se estendem desde o Altiplano 5 numa linha longitudinal, e apenas duas edificações residenciais com gabarito de 27 pavimentos. Comparando com os dados de saída do Altiplano 5, o valor do IDVAT apontou um decréscimo, acredita-se que devido à redução das áreas vegetadas tipo A, e um acréscimo no IDVDC que apesar da leve diminuição das AV's tipo A, teve incremento do tipo B (tabela 3).

Figura 12. Compilado de fotos de tela de cada subárea do Altiplano e perspectiva do bairro completo.

Fonte: Autoras (2021).





LEGENDA			
■	Edificações existentes	■	Áreas Verdes tipo A
■		■	Áreas Verdes tipo B
■		■	Áreas Verdes tipo C



Figura 13. Perspectiva do bairro completo modelado no Rhinoceros.

Fonte: Autoras (2021).

De acordo com Oke (1976), citado por Lombardo (1985), Duarte (2000), Nucci (2001) e Ferreira (2019), cidades equilibradas ambientalmente com potencial de amenização do rigor climático necessitam buscar uma proporção mínima de 30% de cobertura vegetal em relação à densidade construída. Partindo dessa premissa, inseriu-se esse dado à tabela dos inputs calculados (tabela 4) de modo a compreender qual subárea mais próxima a atingir esse objetivo e a subárea mais distante para tal, assim como, transformando o dado de “área total vegetada” em porcentagem.

Tabela 4. Tabela com os inputs e outputs calculados considerando os “30% de Área Verde Total” e “Porcentagem de Área Verde Total Vegetada”.

Fonte: Autoras (2021).

CENÁRIOS – ALTIPLANO	ÁREA TOTAL DO RECORTE (em ha)	30% DE ÁREA VERDE DA ÁREA TOTAL (em ha)	ÁREA TOTAL VEGETADA ATUAL (em ha)	PORCENTAGEM DE ÁREA TOTAL VEGETADA	ÁREA VERDE TIPO A (em ha)	ÁREA VERDE TIPO B (em ha)	ÁREA VERDE TIPO C (em ha)	IDVAT	IDVDC
ALTIPLANO 1	48,55	14,56	23,13	63%	0,98	2,53	19,62	0,06	0,40
ALTIPLANO 2	27,47	8,24	5,31	19%	1,04	0,25	5,19	0,04	0,19
ALTIPLANO 3	24,7	7,41	4,77	19%	1,12	0,25	3,4	0,04	0,13
ALTIPLANO 4	35,65	10,69	11,43	32%	6,33	1,29	3,79	0,13	1,60
ALTIPLANO 5	36,04	10,81	15,59	43%	4,22	3,13	8,24	0,11	0,36
ALTIPLANO 6	26,5	7,95	12,72	48%	3,08	5,06	4,57	0,14	0,92
ALTIPLANO TOTAL	198,91	59,67							

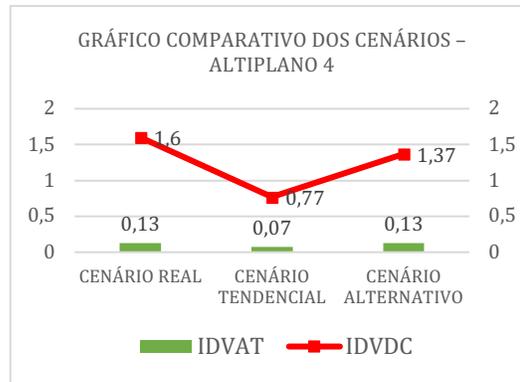
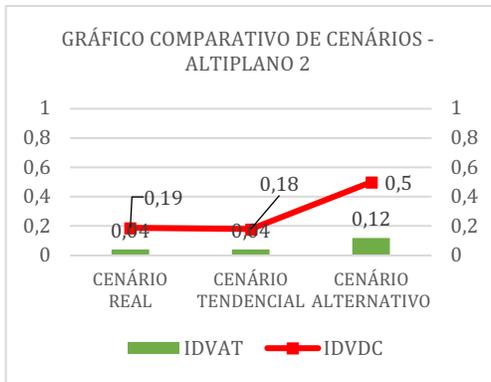
Diante dessa análise, escolheu-se as subáreas Altiplano 2 e 4 para o desenho de Cenários Tendenciosos e Alternativos (figura 13), pois apresentaram os menores e maiores valores, respectivamente, dos indicadores. Sendo assim, é possível identificar estatisticamente um meio de validar o IVU e apontar um caminho para elaboração de um diagrama comparativo.

Os cenários projetados precisaram levar em consideração o Mapa de Adensamento Urbano de João Pessoa (PB) no qual o bairro se insere, de modo que auxiliasse no esboço da expansão das subáreas escolhidas de acordo com o plano previsto pela legislação local.

Para o Altiplano 2, visto que se insere numa Zona Não-Adensável, optou-se por não projetar muitas edificações em um cenário tendencial para os próximos 10 anos. Entretanto, como foi a subárea com menor índice de maciços arbóreos, traçou-se um cenário alternativo no qual a vegetação de eixo viário foi a que mais teve incremento, com predominância arbórea tipo A. Para o Altiplano 4, que se insere na Zona Adensável Prioritária, prevê-se que a tendência seja o incremento construtivo de edificações com o padrão delineado na área (30 à 50 pavimentos) e a redução das áreas vegetadas. Portanto, a alternativa encontrada seria projeção de uma quadra para se tornar uma área verde pública, assim como na criação de corredores verdes que liga esta às quadras da margem sudoeste da subárea, que contém prédios institucionais e comerciais, indicando a presença intensa de transeuntes.

Tabela 5. Valores IVU formulados nos Testes Reais – Cenários Tendenciais e Alternativos.

SUBÁREA ALTIPLANO 2	CENÁRIO TENDENCIAL							
	INPUTS PRIMÁRIOS					OUTPUT/ INPUT SECUN.	OUTPUTS FINAIS	
	ÁREA TOTAL DO RECORTE (em ha)	ÁREA TOTAL VEGETADA (em ha)	ÁREA VEGETADA TIPO A (em ha)	ÁREA VEGETADA TIPO B (em ha)	ÁREA VEGETADA TIPO C (em ha)	FSI	IDVAT	IDVDC
	27,47	6,44	1,04	0,25	5,14	0,24	0,04	0,18
SUBÁREA ALTIPLANO 4	CENÁRIO ALTERNATIVO							
	27,47	10,01	4,61	0,25	5,15	0,24	0,12	0,50
	CENÁRIO TENDENCIAL							
	35,65	8,48	3,17	1,46	3,83	0,09	0,07	0,78
CENÁRIO ALTERNATIVO								
	35,65	35,65	14,02	6,30	1,46	0,09	0,13	1,39



Gráficos 4 e 5. Valores IVU formulados nos Testes Reais – Cenários Reais, Tendenciais e Alternativos.

Postos os valores encontrados em diagrama (gráfico 6), as características dos recortes, frente aos parâmetros de enfoque desta pesquisa, se classificam da seguinte forma:

- **Altiplano 2:** presença de edificações de baixa densidade; Áreas Vegetadas tipos predominantemente C e A;
- **Altiplano 4:** presença de edificações de baixa e alta densidade; Áreas Vegetadas predominantemente tipo A e C;

Ao final do cálculo dos indicadores, estes foram postos em um gráfico de dispersão denominado, nesta pesquisa, como Diagrama IVU, de modo que se abrisse a possibilidade de observar o comportamento dos valores. Uma observação a ser feita no diagrama gerado (gráfico 6) é que os cenários alternativos obtiveram valores maiores alterando mais o predomínio arbóreo tipo A do que a densidade construída. Outra associação que pode ser concluída é que entre o cenário tendencial e o alternativo, o movimento dos indicadores para valores maiores ou próximos de IDVAT e IDVDC das situações reais (ilustradas pelas setas verdes e vermelha), que acompanham os 30% sugeridos por Oke (1976), nortearam uma possível setorização diagramática dos resultados para estabelecer um padrão de comportamento dos indicadores que varie de acordo com tipos de adensamento construtivo e de adensamento vegetado.

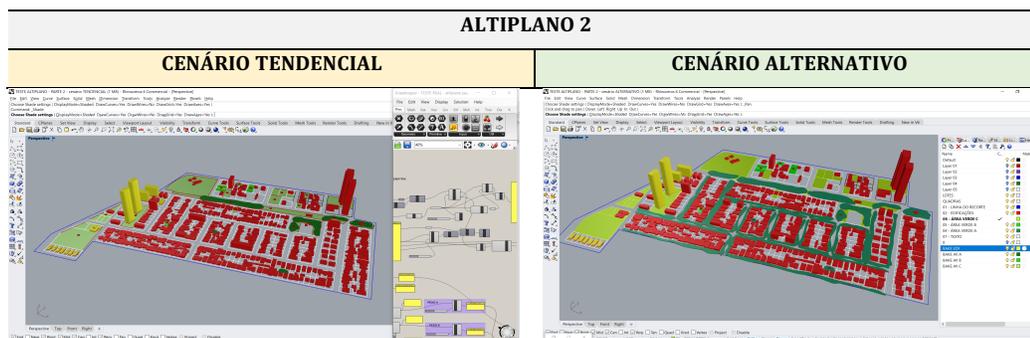


Figura 13. Compilado de fotos de tela das subáreas escolhidas – Cenários Tendenciais e Alternativos.

Fonte: Autoras (2021).

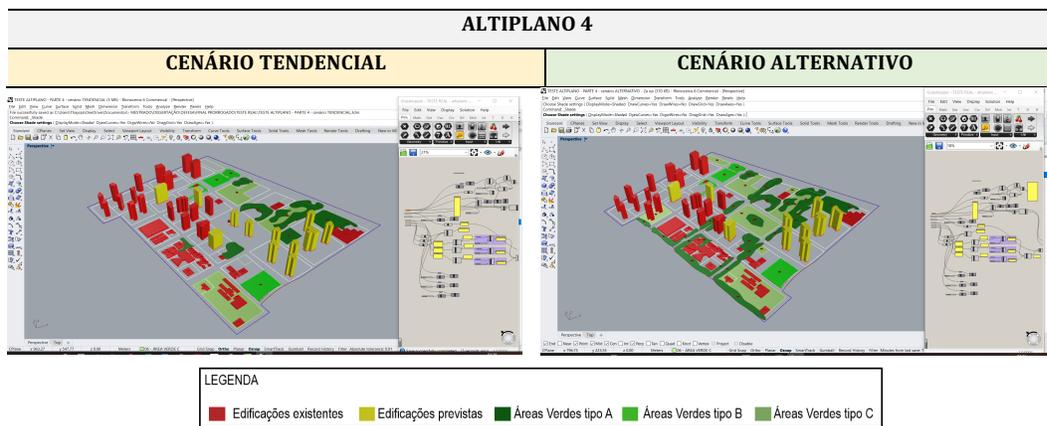
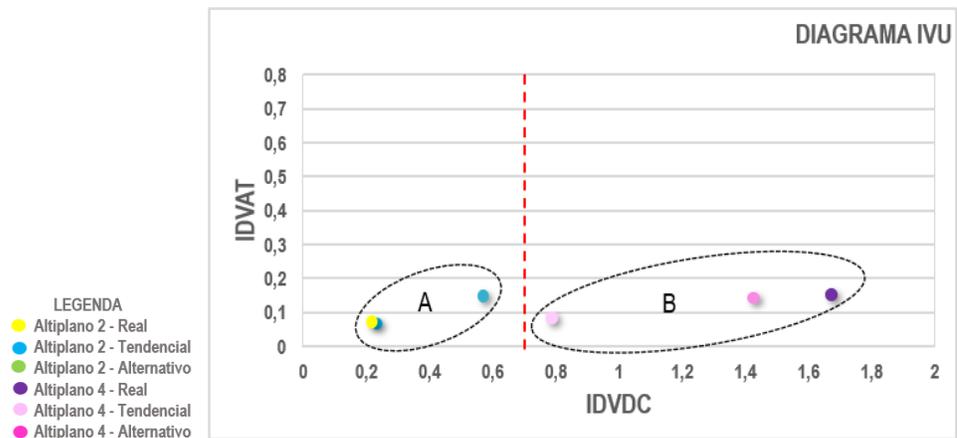


Gráfico 6. Diagrama IVU Testes Reais – Cenários Reais, Tendenciais e Alternativos.

Fonte: Autoras (2021).



COMPARAÇÃO DOS DADOS

Diante da modelagem e cálculo do IVU para o bairro Altiplano, e em busca de validação dos indicadores frente a pesquisas existentes convergentes às temáticas abordadas por esta investigação, os valores encontrados do IVU foram confrontados com o Mapa Climático da cidade de João Pessoa, elaborado por Ribeiro (2014) (figura 14). O autor buscou traçar o mapa climático da cidade aferindo em 8 pontos da cidade os dados de temperatura e umidade do ar. Enfocando-se no Altiplano, e trazendo os dados de saída da aplicação do IVU nas seis subáreas, observa-se que nos pontos mais quentes do bairro, os indicadores se apresentaram menores, e nos mais amenos, eles incrementaram. Isto corrobora com a premissa defendida de pesquisadores (DUARTE, 2000; NUCCI, 2001; GARTLAND, 2010; TORRES, 2017; FERREIRA, 2019) de que áreas com baixa cobertura vegetal e alto adensamento construtivo contribuem para as alterações microclimáticas.

A partir da observação da figura 14, é possível tecer algumas ponderações acerca dos parâmetros de densidade construída e vegetação urbana em correlação com as temperaturas aferidas:

- Os cenários atuais do Altiplanos 1, 2 e 3 poderiam receber um maior foco das políticas públicas convergentes à arborização urbana pois é uma área que apresenta baixa densidade vegetada e padrões construtivos de baixa e de alta densidade. Como se trata

de áreas consolidadas, é interessante que se preserve esses locais, e/ou se invista em políticas mais rigorosas de arborização de eixo viário.

- Nos cenários do Altiplanos 4, 5 e 6 os valores mais altos indicam presença de cobertura vegetal de grande porte na maioria dos lotes, o que pode nortear pesquisas que busquem padrões mais equitativos entre os agrupamentos edilícios e as áreas vegetadas.

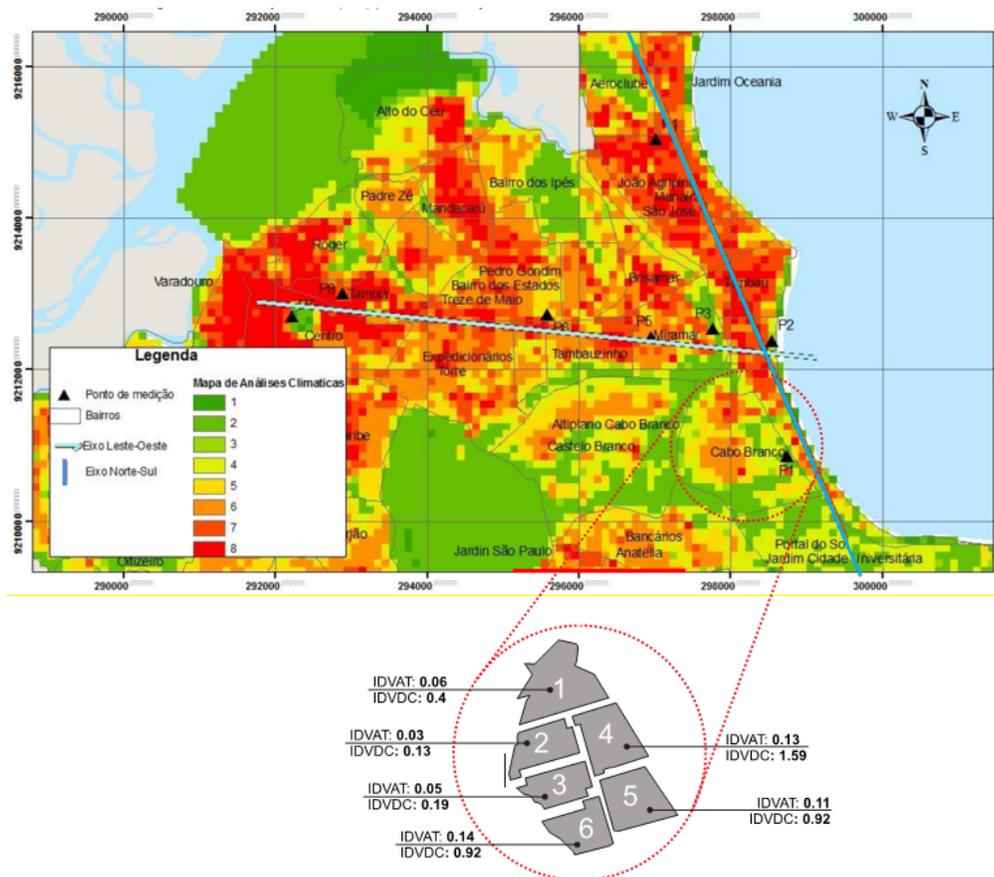


Figura 14. Ilustração dos 8 pontos de aferição microclimática para elaboração do Mapa Climático e a localização dos valores do IVU para o bairro Altiplano.

Fonte. Adaptado de Ribeiro (2014)

Observando a Figura 14 e comparando visivelmente todo o bairro do Altiplano Cabo Branco a outros circunvizinhos, como Miramar e Tambaú, é possível compreender que o Altiplano está numa situação climaticamente mais amena, isto pode estar correlacionado com o fato de ser um bairro que está em um processo de verticalização mais recente (FERNANDES, 2013) e que, por este motivo, deveria receber maior atenção quanto à urbanização do bairro.

Portanto, o objetivo geral da elaboração do IVU, de analisar, mensurar e apontar quantitativamente o adensamento construtivo correlacionado com o adensamento vegetado presentes em áreas urbanas foi atingido com êxito. Permite, assim, contribuir para o processo de controle de expansão urbana associada à quantificação da cobertura vegetal necessária para manter o equilíbrio ambiental e climático das cidades.

CONCLUSÕES

O sistema de ferramentas Indicadores para o Verde Urbano (IVU) apresentou-se, neste artigo, como uma proposta para auxiliar a tomada de decisão de pesquisadores e planejadores na análise de problemas urbanos. A implementação computacional, elaborada seguindo a lógica

algorítmica em programa de modelagem, se mostrou vantajosa no sentido de trabalhar em abordagem temporal (situações atuais e futuras), assim como dinamizar a combinação dos dados de entrada para fornecer cenários precisos em tempo hábil.

A partir das amostragens reais testadas, foi possível compreender que áreas densamente vegetadas incrementam os indicadores; as áreas com maior qualidade ambiental e climática são as que mais apresentaram presença verde com predominância arbórea de grande porte. Além de áreas verdes, o IDVAT e o IDVDC contabilizam o verde de eixo viário, o que contribui para a formação de rotas peatonais mais confortáveis aos transeuntes da localidade estudada, devido ao sombreamento e amenização da incidência solar. Recordar-se, contudo, que a escolha das espécies arbóreas também é importante, quando da aplicação real do Indicadores para o Verde Urbano (IVU), levando-se em consideração a Zona Bioclimática na qual está localizado o recorte urbano, assim como a presença de corpos d'água e condições geográficas locais.

São possibilidades consideradas para os desdobramentos futuros desta presente pesquisa ultrapassar os processos de inspeção visual e que se possa conduzir o algoritmo criado para os indicadores em bases *open source*, como o Google Earth Engine, e/ou associá-los à dados de SIG, como a captura LiDar e o cálculo do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). Assim como, dados de temperatura de superfície e estudos sobre Ilhas de Calor Urbanas, integrando-se ao uso do envi-MET.

Vale ressaltar que a investigação aqui proposta não visa ser contrária à questão do adensamento populacional apresentada por autores que defendem a sustentabilidade pela compactação urbana, contudo visa contribuir sadamente para a discussão da mensuração da cobertura vegetal urbana frente à densidade urbana. Não há como combater a redução dos deslocamentos intraurbanos para mitigação dos impactos dos efeitos dos gases de efeito estufa produzidos, na maioria das vezes, por automóveis motores sem existir uma preocupação ínfima de se promover, de modo adensado, os maciços arbóreos fundamentais para o equilíbrio ambiental. Se a “nova ordem” para cidades sustentáveis for o incremento da densidade populacional, que esta seja feita observando a proporção mínima à densidade vegetada, pois não haverá sustentabilidade econômica e social sem estas estarem integradas à ambiental.

Por fim, espera-se, que a evolução da metodologia proposta pelo Indicadores para o Verde Urbano (IVU) possa auxiliar a fornecer dados de fundamental importância para alcançar maiores níveis de amenização do rigor climático que incide gradualmente nos grandes núcleos urbanos, assim como, contribuir com estudos de impacto para evitar conflitos no processo de urbanização ao longo do tempo e promover a implementação de medidas mais equitativas e ambientalmente qualificadas.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Referências Bibliográficas

ABREU, Loyde Vieira; LABAKI, Lucila Chebel. Conforto térmico propiciado por algumas espécies arbóreas: avaliação do raio de influência através de diferentes índices de conforto. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 4, p. 103-117, 2010.

ARAÚJO, Carlos Magno Adães; FERREIRA, Cássia Castro Martins. Áreas verdes públicas em Juiz de Fora, MG: Uma análise do estado da arte atual. **Geo UERJ**, v. 2, n. 25, p. 250-275, 2014.

BENINI, Sandra Medina. **Áreas Verdes Públicas**: a construção do conceito e a análise geográfica desses espaços no ambiente urbano. Dissertação de mestrado. Pós-Graduação em Geografia. Universidade Estadual Paulista 'Julio de Mesquita Filho', 2009.

BERGHAUSER-PONT, Meta; HAUPT, Per André. **Space, density and urban form**. Tese de Doutorado, TU Delft, 2009.

CALLEJAS, Ivan Júlio; CAMPOS, Affonso Ciekalski Soares; DURANTE, Luciane Cleonice; NOGUEIRA, Marta Cristina de Jesus Albuquerque. Índices arbóreos e suas relações com o microclima urbano. **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Juiz de Fora (MG), 2012.

CAELUM. Disponível em: www.caelum.org.br. Acesso em: 25 de setembro de 2019.

CAROPUSSO, Danúbia; MATIAS, Lindon Fonseca. Áreas verdes urbanas: avaliação e proposta conceitual. **VIII Seminário de Pós-graduação em Geografia da UNESP**, Rio Claro-SP, 2008.

CELANI, Gabriela; VAZ, Carlos Eduardo Verzola. Scripts em CAD e ambientes de programação visual para modelagem paramétrica: uma comparação do ponto de vista pedagógico. **Anais do V TIC - Salvador**, p. 1-13, 2011.

CELANI, Gabriela; VAZ, Carlos Eduardo Verzola. CAD scripting and visual programming languages for implementing computational design concepts: A comparison from a pedagogical point of view. **International Journal of Architectural Computing**, v. 10, n. 1, p. 121-137, 2012.

CHURCHMAN, Arza. Disentangling the concept of density. **Journal of planning literature**, 13(4), 389-411, 1999.

DEMPEY, Nicola; BRAMLEY, Glen; POWER, Sinead; BROWN, Caroline. The social dimension of sustainable development: Defining urban social sustainability. **Sustainable development**, 19(5), 289-300, 2011.

DOS SANTOS, Rodrigo Pereira; COSTA, Heitor Augustus Xavier; LUIZ, André. **Avaliação de Interfaces de Ferramentas Computacionais para o Ensino de Estruturas de Dados e Algoritmos em Grafos: Heurísticas de Usabilidade**. Departamento de Ciências da Computação, Universidade Federal de Lavras (UFLA), 2006.

DUARTE, Denise Helena Silva. **Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental**. Tese de Doutorado, Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2000.

FARR, Douglas. **Urbanismo sustentável**: desenho urbano com a natureza. Bookman Editora, 2013.

FÉLIX, Lílian Leite; NEVES Thayssa Barbosa da Silva; ROCHA, Ricardo. Desenvolvimento de Indicadores para Avaliação de Sustentabilidade Intra-Urbano em uma Área Consolidada em João Pessoa - PB. **Anais do Congresso Internacional de Sustentabilidade Urbana: 14ª Jornada Urbanere e 2ª Jornada Cires**. Vitória/Vila Velha - ES. Disponível em: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/59318>, pg. 1187, 2018.

Fernandes, Maria Adreína Moreira. **A (re) produção do espaço urbano no bairro altiplano, João Pessoa-PB: Estratégias, iniciativas e interesses dos agentes que produzem a cidade**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Paraíba, 2013.

FERREIRA, Cássia Castro Martins; MONTEIRO, Ana; PAULA, Isabela Fernanda Moraes. Áreas verdes e desigualdades sociais em um município de médio porte no Brasil/Green areas and social inequalities in a medium-sized municipality in Brazil. **Caderno de Geografia**, 29(56), 221-221, 2019.

FERREIRA, Cássia de Castro Martins. Modelo para análise das variáveis de cobertura da terra e a identificação de microclimas, em centros urbanos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 14, n. 1, 2014.

FREITAS, Christian Rezende; MOURA, Ana Clara Mourão. Optimization, Dynamization and Visualization In The Use Of LiDAR Data In Pampulha, Belo Horizonte: From Desktop To Spatial Database. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 8, 2017.

GARTLAND, Lisa. **Ilhas de calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. Oficina de Textos, 2010.

GRASSHOPPER3D. Disponível em: <http://www.grasshopper3d.com>. Acesso em: 4 de junho de 2019.

- GOMES, Patrícia Silva; LAMBERTS, Roberto. O estudo do clima urbano e legislação urbanística: considerações a partir do caso Montes Claros–MG. **Ambiente Construído**, v. 9, n. 1, p. 73-91, 2009.
- HARDER, Isabel Cristina Fialho; RIBEIRO, Roberval de Cássia Salvador; TAVARES, Armando Reis. Índices de área verde e cobertura vegetal para as praças do município de Vinhedo, SP. **Revista Árvore**, v. 30, n. 2, p. 277-282, 2006.
- HENKE-OLIVEIRA, Carlos. **Planejamento ambiental na cidade de São Carlos (SP) com ênfase nas áreas públicas e áreas verdes diagnóstico e propostas**. Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), 1996.
- IPCC. **Climate Change and Land**. International Panel of Climate Changes, 2016.
- KOLAREVIC, Branko. Designing and manufacturing architecture in the digital age. **Anais CumInCAD**, 2001.
- _____. (Ed.) **Architecture in the digital age: design and manufacturing**. Taylor & Francis, 2004.
- LABAKI, Lucila Chebel; SANTOS, Rozely Ferreira dos; BUENTO-BARTHOLOMEI, Carolina Lotufo; ABREU, Loyde Vieira de. Vegetação e conforto térmico em espaços urbanos abertos. **Fórum Patrimônio: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável**, 4(1), 2013.
- LIMA, Fernando Tadeu de Araújo. **MÉTRICAS URBANAS: Sistema (para) métrico para análise e otimização de configurações urbanas de acordo com métricas de avaliação de desempenho**. Tese de Doutorado em Urbanismo - PROURB, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017.
- LIMA, Fernando Tadeu de Araújo; BORGES, Marcos; COSTA, Frederico Ribeiro (Orgs.). **Digital Techniques Applied to Design Process**. In: *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 1), 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- LOMBARDO, Magda Adelaide. **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. Editora Hucitec, com apoio de Lalekla SA Comércio e Indústria, 1985.
- MIANA, Anna Cristina. **Adensamento e forma urbana: inserção de parâmetros ambientais no processo de projeto**. Tese de Doutorado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2010.
- NEWMAN, Peter W.; KENWORTHY, Jeffrey R. Gasoline consumption and cities: a comparison of US cities with a global survey. **Journal of the American planning association**, 55(1), 24-37, 1989.
- NUCCI, João Carlos. **Qualidade ambiental e adensamento urbano: um estudo de ecologia e planejamento da paisagem aplicado ao distrito de Santa Cecília (MSP)**. Edição do autor, 2008.
- ROSSET, Franciele. **Procedimentos metodológicos para estimativa do índice de áreas verdes públicas - Estudo de caso: Erechim, RS**. Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), 2005.
- SENA, Italo Sousa de; CASAGRANDE, Pedro Benedicto; ROCHA, Nicole Andrade; FONSECA, Bráulio Magalhães; MOURA, Ana Clara Mourão. Metodologia Para Análise Do Volume Vegetacional e Construído. **Mercator (Fortaleza)**, v. 17, 2018.
- SCHUMACHER, Patrik. Parametric patterns. **Architectural Design**, v. 79, n. 6, p. 28-41, 2009.
- SILVA, Brenda Alves; XAVIER, Tatiana Camelo; SILVA, Fabiana Trindade da; ALVAREZ, Cristina Engel de. O impacto da distribuição de vegetação no microclima de ambientes urbanos. **Proceedings... EURO ELECS**, Guimarães (Portugal), 2015.
- SPANGENBERG, Jörg. **Retro-innovating Nature in Megacities. São Paulo/Brazil—a case-Study**. Tese de Doutorado em Engenharia, Universidade Bauhaus de Weimar, 2009.
- STEINØ, Nicolai; VEIRUM, Niels Einar. A Parametric Approach to Urban Design. **Proceedings... 23rd eCAADe CONFERENCE**, Lisboa (Portugal), p. 679-686, 2005.
- TERZIDIS, Kostas. **Algorithms for Visual Design Using the Processing Language**. Wiley Publishing, Inc, 2009.

Thayssa Neves
thay.arquitetura@hotmail.com

Lucila Chebel Labaki
llabaki@gmail.com

TURKIENICZ, Benamy; GONÇALVES, Bárbara Bellaver; GRAZZIOTIN, Pablo. CityZoom: a visualization tool for the assessment of planning regulations. **International Journal of Architectural Computing**, v. 6, n. 1, p. 79-95, 2008.