

METODOLOGIA PARA ANÁLISE DO VOLUME VEGETACIONAL E CONSTRUÍDO

SENA, Italo Sousa de; ^{a*} CASAGRANDE, Pedro Benedito; ^b ROCHA, Nicole Andrade; ^c FONSECA, Bráulio Magalhães; ^d MOURA, Ana Clara Mourão; ^e

(a) Doutorando em Geografia. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte (MG), Brasil. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6500-5609>. CURRICULUM LATTES: <http://lattes.cnpq.br/4445767615772667>

(b) Doutorando em Geologia. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte (MG), Brasil. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4515-1630>. CURRICULUM LATTES: <http://lattes.cnpq.br/6024374437993139>

(c) Doutorando em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte (MG), Brasil. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6902-9344>. CURRICULUM LATTES: <http://lattes.cnpq.br/8339258664325884>

(d) Doutor em Geografia. Professor Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte (MG), Brasil. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2282-8568>. CURRICULUM LATTES: <http://lattes.cnpq.br/8551916275030169>

(e) Doutor em Geografia. Professor Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte (MG), Brasil. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6823-1938>. CURRICULUM LATTES: <http://lattes.cnpq.br/6448889980942931>

(*) CORRESPONDING AUTHOR

Address: LabgeoproEA/UFMG - Rua Paraíba, 697, Sala 410A – Savassi, CEP: 30130-140 - Belo Horizonte (MG), Brasil. Tel. (+55 31) 34098827.
E-mail: italosena@ufmg.br

RESUMO

Hoje, em algumas cidades brasileiras, apresenta-se possibilidade de utilização de dados de alta resolução e de classificação automatizada baseada em bandas espectrais. Assim, este artigo tem por objetivo avaliar a associação do índice espectral NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ao uso do LiDAR, visando analisar a cobertura vegetal urbana e as transformações de suas paisagens. Observou-se que a associação da alta resolução espacial de uma imagem aerofotogramétrica à resposta espectral na faixa do infravermelho próximo permitiu a identificação otimizada da cobertura vegetal arbórea. Viabilizando a documentação, visualização e análise dos fenômenos do lugar, facilitando a investigação das relações espaciais, através da representação por mapas, gráficos e principalmente para simulação de possíveis cenários espaciais, além disso, possibilitou avaliar intervenções e realizar previsões, auxiliando projeto ou proposta de leis e parâmetros urbanísticos.

Palavras-chaves: LIDAR; NDVI; Uso remoto; Áreas verdes; Gestão urbana; Pampulha.

ABSTRACT / RESUME

METHODOLOGY FOR GREEN AND BUILT VOLUME ANALYSIS

Today, in some Brazilian cities, there is the possibility of using high-resolution data and automated classification based on spectral bands. Thus, this article aims to evaluate the association of the NDVI (normalized difference vegetation index) to the use of LiDAR, in order to analyze urban vegetation cover and the changes of the local landscapes. It was observed that the association of the high spatial resolution of an aerophotogrammetric image to the spectral response in the near infrared range allowed the vegetation to be identified. This enabled the documentation, visualization and analysis of a location's phenomenon, facilitating the investigation of spatial relationships through representation by maps, charts, especially for simulating possible spatial scenarios and thus permitting the evaluation of interventions and predictions to be made, assisting projects or proposed laws and urban parameters.

Keywords: LIDAR; NDVI; Remote sensing; Green areas; Urban management; Pampulha.

MÉTHODOLOGIE POUR L'ANALYSE DU VOLUME VÉGÉTATIF ET CONSTRUIT

Aujourd'hui, dans certaines villes brésiliennes, il y a la possibilité d'utiliser une des données de haute résolution et de la classification automatisée basée sur des bandes spectrales. Ainsi, cet article vise évaluer l'association de l'indice spectral NDVI (Normalized Indice de végétation par différence) pour l'utilisation de LiDAR afin d'analyser la végétation urbaine et les changements des paysages locaux. Il a été observé que l'association d'une image aérophotogramétrique de haute résolution à la réponse spectrale du niveau d'infrarouge permet l'identification de la végétation. Cela a permis la documentation, la visualisation et l'analyse d'un phénomène de location, ce qui facilite l'investigation des relations spatiales par le biais d'une représentation des cartes, des graphiques, surtout pour la simulation des probables scénarios spatiaux, d'où l'évaluation des interventions et prévisions à accomplir, en soutenant les projets ou les lois proposées ainsi que les paramètres urbains.

Mots Clés: LIDAR; NDVI; Télédétection; Espaces verts; Gestion urbaine; Pampulha.

Article history:

Received 30 June, 2018

Accepted 3 July, 2018

Publisher 15 September, 2018

INTRODUÇÃO

A utilização de sensoriamento remoto para os estudos de cobertura vegetal utilizando fontes de informação em alta resolução espacial não é algo novo, uma vez que o uso de dados aerofotogramétricos e laser scanner já são uma realidade acessível. Entretanto, carecia-se da possibilidade de aplicação dessas tecnologias em estudos tridimensionais aplicado à cobertura vegetal urbana, principalmente utilizando LiDAR (Light Detection and Ranging) associado ao NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (JENSEN, 2007; GIONGO et al. 2010) com vistas a dar suporte ao cotejo entre volume edificado e volume vegetado, para avaliação da qualidade ambiental urbana. A aplicação do LiDAR associado ao NDVI no solo urbano, possibilita uma nova maneira de pensar o espaço urbano que busque garantir a qualidade do ambiente e de vida das pessoas, principalmente no que se refere à cobertura vegetal que compõe a paisagem urbana, de modo a considerar a importância desta variável em paisagens cada vez mais impactadas pelos processos de antropização intensa.

Dupagne, A. e Hégron, G. (2002) tratam a ambiência urbana como um conceito que abrange o domínio do design urbano, surgindo a partir da percepção de observador e participantes na interpretação das interações entre os fenômenos naturais, atividades urbanas e a forma urbana. Assim, fatores como conforto térmico, sonoro, luz ambiental e microclima, tendem a gerar uma grande influência sobre as preferências das pessoas em uma área urbana. Mascaró e Mascaró (2009) reforçam que a relação entre áreas verdes urbanas e o ambiente construído favorecem para a qualidade da ambiência urbana, além de trazer a identificação e estética para o local. Para o presente artigo será adotado o conceito de ambiência urbana relacionada à essência da paisagem do local, buscando o equilíbrio ambiental em relação ao bem e apropriação do espaço urbano pelas pessoas que utilizam o lugar.

A vegetação arbórea em ambiente urbano é responsável por diferentes funções, relacionadas à qualidade estética, à criação de possibilidades de socialização e lazer, à proteção da biodiversidade, à proteção contra problemas geotécnicos, proteção de recarga de aquíferos e de mananciais, além de garantir também a manutenção do equilíbrio ambiental relacionado ao clima, umidade do ambiente, qualidade do ar e controle acústico (LOBODA et. al., 2005; ANTROP, 2004; BESSA, SOARES, 2003; HOUGHTON, 1994; SANTOS, 1994).

Pode-se citar como exemplo de pesquisa a técnica que mapeia as áreas verdes urbanas usando a tecnologia LiDAR no estudo elaborado por Rafiee et al. (2016), no qual os autores avaliaram o impacto local do volume de árvores no fenômeno de ilha de calor no período noturno na cidade de Amsterdã, Holanda. Há também estudos que exploram o LiDAR como fonte de informações sobre volumes edificados, como no caso de Tomás et al. (2016) que associam volume construído com estimativa populacional. E há outros, como Souza e Amorim (2012) que exploram a importância desse modo de captura de dados para a conformação de um cadastro 3D, base para a gestão territorial.

O diferencial do presente estudo está em trabalhar, simultaneamente, dados volumétricos de cobertura vegetal e de edificações, de modo a favorecer estudos sobre ambiência urbana. Desta forma, o objetivo do presente artigo é estimar os volumes de áreas verdes urbanas e das edificações a partir de dados LiDAR, diferenciando a cobertura vegetal robusta destacada pelo índice normalizado de cobertura vegetal, com vistas a contribuir para estudos do equilíbrio de sistemas na regional Pampulha, em Belo Horizonte, Brasil, área que foi recentemente contemplada com o título de Patrimônio da Humanidade pela UNESCO e precisa adotar medidas de caracterização, manutenção e melhoria da qualidade da paisagem natural e antrópica.

USO DO LIDAR E DO NDVI

A tecnologia LiDAR (Light Detection and Ranging) veio agregar novos usos e possibilidades de levantamentos espaciais aos estudos da superfície terrestre. Baseia-se na técnica de sensoriamento ativo, apresentando uma excelente capacidade de aquisição de informações em pequenos intervalos de tempo através do uso de laser, de modo a obter nuvens de pontos tridimensionais contendo atri-

butos de coordenadas X, Y, Z, além de intensidade da reflexão, número do eco (retorno) e outros. Inicialmente, as aplicações eram mais direcionadas para a criação do Modelo Digital de Terreno (MDT), e Modelos Digitais de Superfície (MDS), favorecendo a modelagem das rugosidades existentes sobre a superfície terrestre, tais como edificações e copas de árvores. (GIONGO et al. 2010; RIBAS et al., 2014).

O NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) se baseia na assinatura espectral do comportamento dos alvos de cobertura vegetal, que apresentam respostas específicas relacionadas à fotossíntese, cujo processo absorve a radiação solar na região do vermelho. As células das plantas refletem fortemente na região do infravermelho próximo. As porções absorvidas no vermelho e refletidas no infravermelho variam de acordo com as condições das plantas. Podemos associá-los a outros índices normalizados para fazer correlações e verificar a ambiência do local de estudo e possibilitar uma melhor gestão do lugar (ROUSE et. al., 1973; MYNENI, 1995; FREIRE, PACHECO, 2005).

Vive-se hoje, em algumas cidades brasileiras que têm recursos para investimento em dados, a possibilidade de utilização de dados de alta resolução espacial (até 20 centímetros) e de classificação automatizada baseada em bandas espectrais (a exemplo da possibilidade de se trabalhar com a faixa do infravermelho em imagens de satélite ou de vãos aerofotogramétricos). Esta nova possibilidade implica na melhoria das informações que podem auxiliar na proposição de parâmetros urbanísticos, tais como: taxas de impermeabilização, taxas de infiltração, zonas de calor, aquecimento, conforto ambiental, uso do solo, índice de variabilidade da cobertura do solo, entre outros.

ESTUDO DE CASO

Com o objetivo de demonstrar o potencial e as limitações da aplicação dos estudos por meio de imagens de alta resolução no Brasil, este trabalho vai se concentrar na Região da Pampulha, em Belo Horizonte. Ele foi escolhido como um estudo de caso, pois ainda é uma regional expressivamente favorecida por cobertura vegetal, mas sofre riscos de transformação em função do crescimento da cidade e da promoção da orla da Lagoa e de suas obras ao título de Patrimônio Cultural da Humanidade pela UNESCO, em função de sua importância para a arquitetura modernista brasileira, projetada por Oscar Niemeyer e contando com contribuições de Portinari, Burle Marx, Ceschiatti e Paulo Werneck (CARSALADE, 2015). O título favorece o interesse por transformação do uso e ocupação do solo, que se não bem orquestrado pode ter como consequência a supressão de qualidades hoje existentes.

Contudo, a mesma lógica de avaliar e cotejar o volume vegetado e o volume edificado pode ser aplicado em outros estudos urbanos no Brasil, de modo que o artigo é uma contribuição metodológica que dá base para a proposição de parâmetros urbanísticos para serem inseridos em Planos Diretores, auxiliares na manutenção da qualidade de vida urbana.

Devido às suas características ambientais (relevo e declividades pouco acentuadas) e à sua importância cultural, a Pampulha tornou-se conhecida em Belo Horizonte (Brasil), atraindo investidores privados e profissionais do mercado imobiliário, resultando em uma conformação dinâmica e ainda em processo de transformação da paisagem (CARSALADE e CASTRO, 2011). É uma área de conflitos de interesse no que diz respeito à proteção de patrimônio cultural, expansão por densificação ou espraiamento urbano, e a presença de vegetação expressiva.

METODOLOGIA

O processo metodológico cumpriu quatro etapas principais, iniciando-se pela organização do banco de dados, seguindo pelo pré-processamento e processamento dos dados refinados e, por fim, analisando os resultados obtidos.

Os dados iniciais foram gentilmente cedidos pela PBH/Prodabel (Prefeitura de Belo Horizonte). A coleção foi composta por nuvens de pontos do LiDAR (Light DetectionAndRanging) separados em informações sobre MDT (Modelo Digital de Terreno) e MDS (Modelo Digital de Superfície), por dados cadastrais de vias, quadras, lotes e projeções das edificações, e por imagens de levantamento aerofotogramétrico de alta resolução que contemplava tanto faixas do visível, como faixas do infravermelho próximo.

Foi realizada a conversão dos dados do arquivo *.LAS para shapefile utilizado o pacote de ferramenta 3D Analyst do ArcGis. Seguido de emprego do Data Management Tools para a conversão da nuvem de pontos criados para pontos únicos (MultiparttoSinglepart) e, por fim, no 3D Analyst foi feita a adição do atributo Z através do Add Z Information.

A projeção bidimensional dos fragmentos vegetais arbóreos foram extraídos a partir do uso do NDVI (Normalized Digital Vegetation Index). As bandas Infravermelho Próximo e do Vermelho foram usadas no cálculo do NDVI, por álgebra de rasters, e depois transformados em polígonos vetoriais. O cálculo do NDVI seguiu a fórmula (1):

$$NDVI = \frac{(pivp - pv)}{(pivp + pv)} \quad (1)$$

Onde pivp é o infravermelho próximo; pv é o vermelho.

Com os dados vetoriais de fragmentos vegetais arbóreos e de projeções de edificações foi possível calcular o volume das formas a partir da área projetada em visão de topo, e da altura (Z) extraída da nuvem de pontos tridimensional (Figura 1). Os dados foram espacializados em forma 2D e 3D (Figura 2). Para a representação bidimensional foi feito um mapa temático representando o volume das formas analisadas, ao passo que para a visualização tridimensional foi utilizado o aplicativo ArcScene/ArcGis.

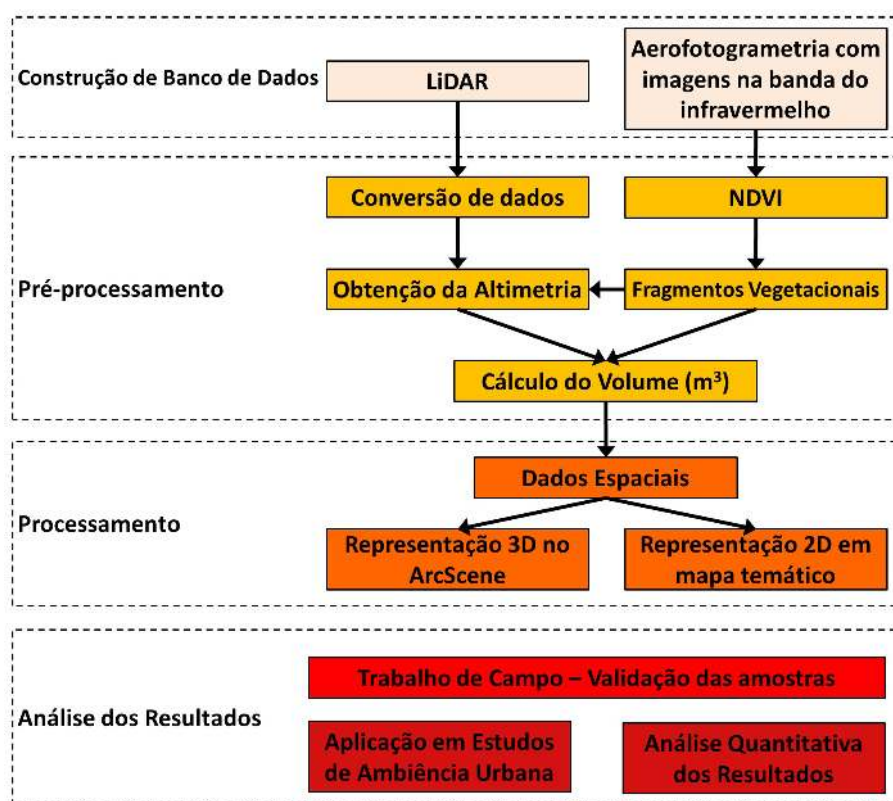


Figura 1 - Fluxograma Metodológico

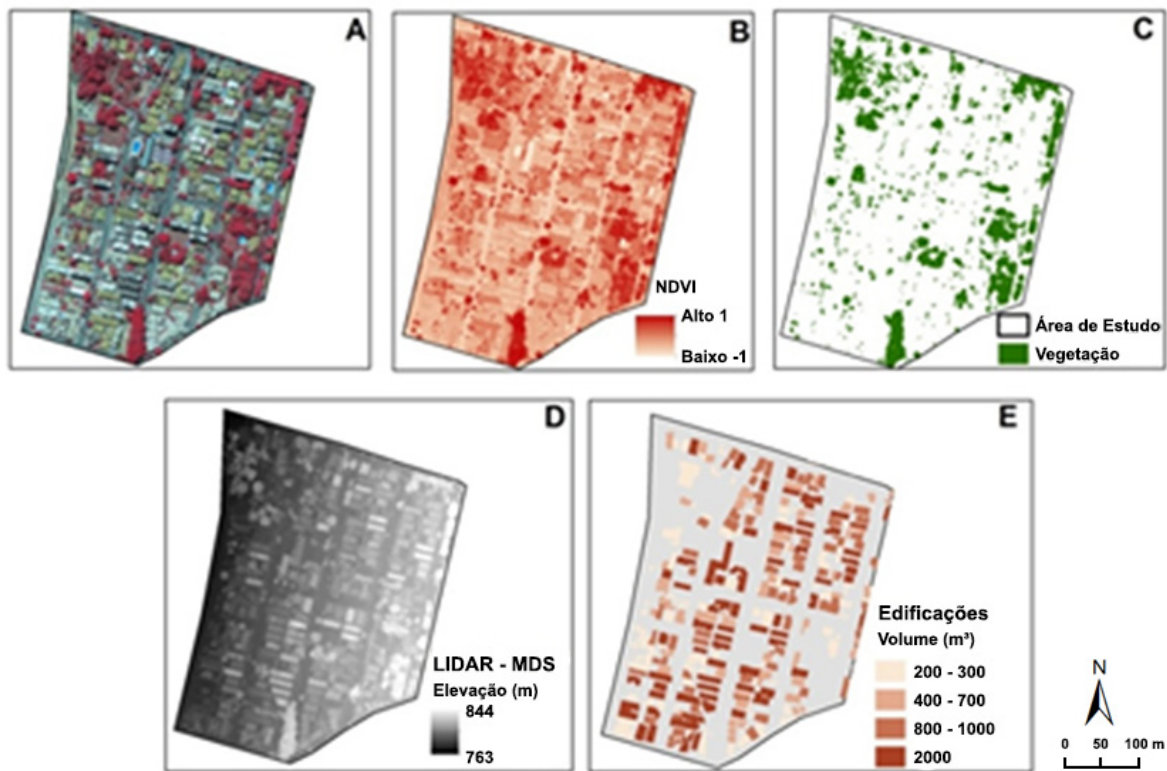


Figura 2 - A) Imagem em alta resolução; B) NDVI; C) Vegetação arbórea; D) Elevação; E) Volume construído.

Para a validação de resultados foi realizado um trabalho de campo para verificação visual e levantamento fotográfico da área estudada. Foram visitados os quatro locais que apresentaram as maiores manchas de vegetação arbórea. O levantamento fotográfico teve como objetivo a documentação da realidade espacial da área de estudos, com o propósito de evidenciar as particularidades de cada sítio de validação. A partir da delimitação dos sítios de validação foram realizadas análises estatísticas dos volumes de edificações e vegetação. Foi analisado o desvio padrão das amostras, a fim de avaliar o distanciamento dos dados em relação à média das amostras. O cálculo do desvio padrão pode ser expresso a partir da equação (2):

$$STD = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (2)$$

Onde x_i corresponde ao valor da amostra, $\bar{x}$ corresponde à média dos valores das amostras e n ao número de amostras.

RESULTADOS PARCIAIS E FINAIS OBTIDOS

A associação do LiDAR ao NDVI permitiu a identificação otimizada da cobertura vegetal arbórea, principalmente na representação tridimensional, dando luz a novas possibilidades de aplicações aos estudos de ambiência urbana. O primeiro processo no uso das imagens aerofotogramétricas foi explorar as possíveis combinações das bandas, que poderiam ser tratadas como falsa-cor (bandas do azul, vermelho e infravermelho próximo) e de cor verdadeira (bandas RGB na faixa do visível). A partir das diferentes combinações de bandas foi confirmado o potencial de uso da faixa do infravermelho, pois a vegetação que tem alta refletância nessa banda, com alta resposta espectral. Por outro lado, a composição RGB na faixa do visível favorece a associação com a realidade existente. (Figura 3).

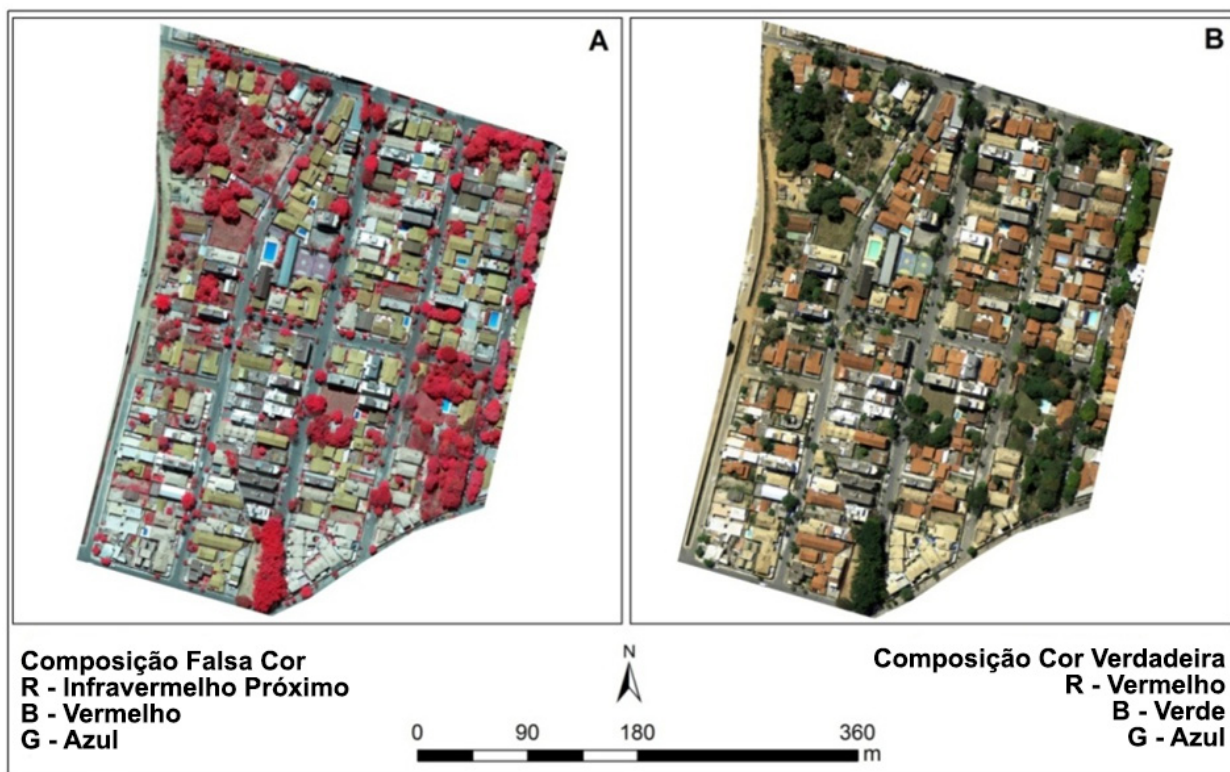


Figura 3 - A) Composição falsa cor; B) Composição cor verdadeira.

O passo seguinte foi a extração do NDVI, por álgebra de rasters das bandas do Infravermelho (Figura 4, detalhe A) e do Vermelho (Figura 4, detalhe B), resultando no índice de presença de vegetação (Figura 4, detalhe C).

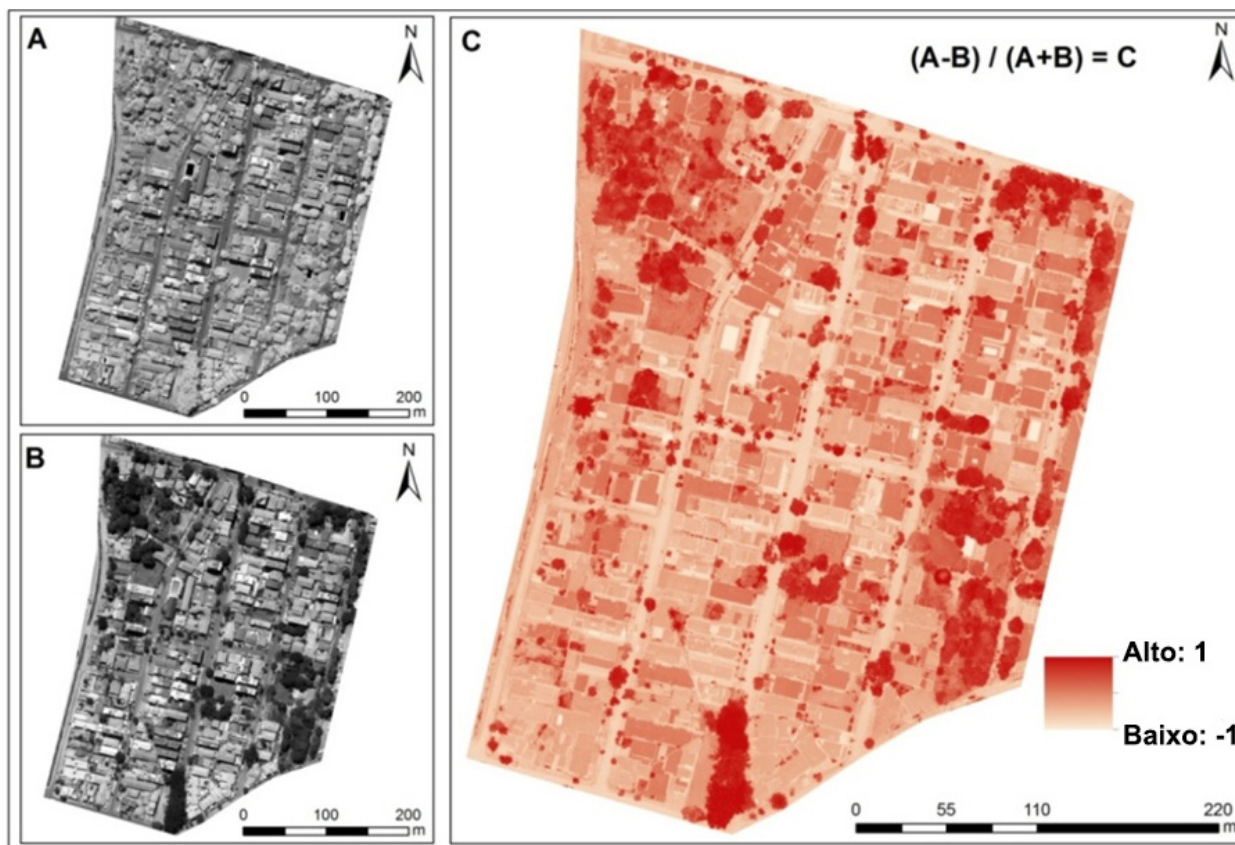


Figura 4 - A) Imagem representando a banda do infravermelho próximo; B) Imagem representando a banda do vermelho; C) NDVI.

O índice de presença/robustez da vegetação, representado pelo NDVI (Figura 5A) é então segmentado de modo a destacar sua distribuição em valores, discretizado em classes que vão de “Ausência de Vegetação” em tons de roxo e “Vegetação Robusta” em tons de verde (Figura 5B). O NDVI pode oscilar entre os valores de -1 a 1, sendo que na separação final foram selecionadas as respostas maiores que 0,16 para extrair os fragmentos vegetais de porte arbóreo (Figura 5C).



Figura 5 - A) NDVI; B) Fatiamento do NDVI, rosa sem vegetação e verde com vegetação; C) Fragmentos de vegetação robusta.

Além dos estudos de cobertura vegetal, foram mapeadas e analisadas as condições dos volumes edificadas. O trabalho foi realizado a partir de nuvem de pontos LiDAR (Figura 6A). As informações estavam separadas em MDS (Modelo Digital de Superfície) e em MDT (Modelo Digital de Terreno) e foi possível compor a realidade topográfica da área, rebaixada a oeste em função da planície fluvial de um curso d'água que passa com sentido norte-sul, e a leste uma elevação do terreno (Figura 6B). A partir dos dados cadastrais de projeções de edificações, foram extraídas as alturas e especializados os volumes construídos (Figura 6C).

Os dados coletados para os fragmentos de vegetação também foram compostos de modo a produzir polígonos de projeções para os quais foram extraídos pontos com dados de altimetria, o que favoreceu a composição de uma malha tridimensional TIN (Triangular Network) (Figura 7A e 7B). A partir dos elementos tridimensionais compostos pelos fragmentos de vegetação foram calculados volumes vegetacionais, classificados por suas dimensões (Figura 7C).

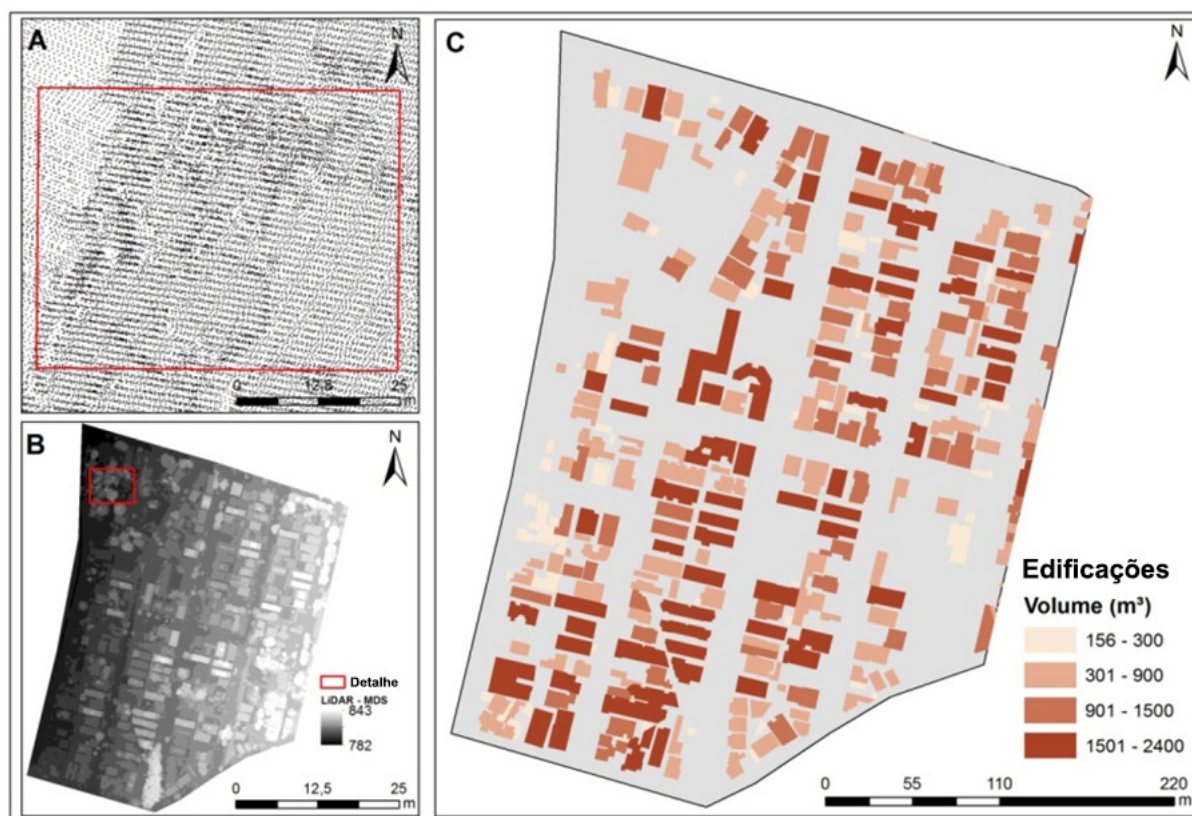


Figura 6 - A) Nuvem de pontos; B) Modelo Digital de Superfície (MDS); C) Modelo volumétrico das edificações.

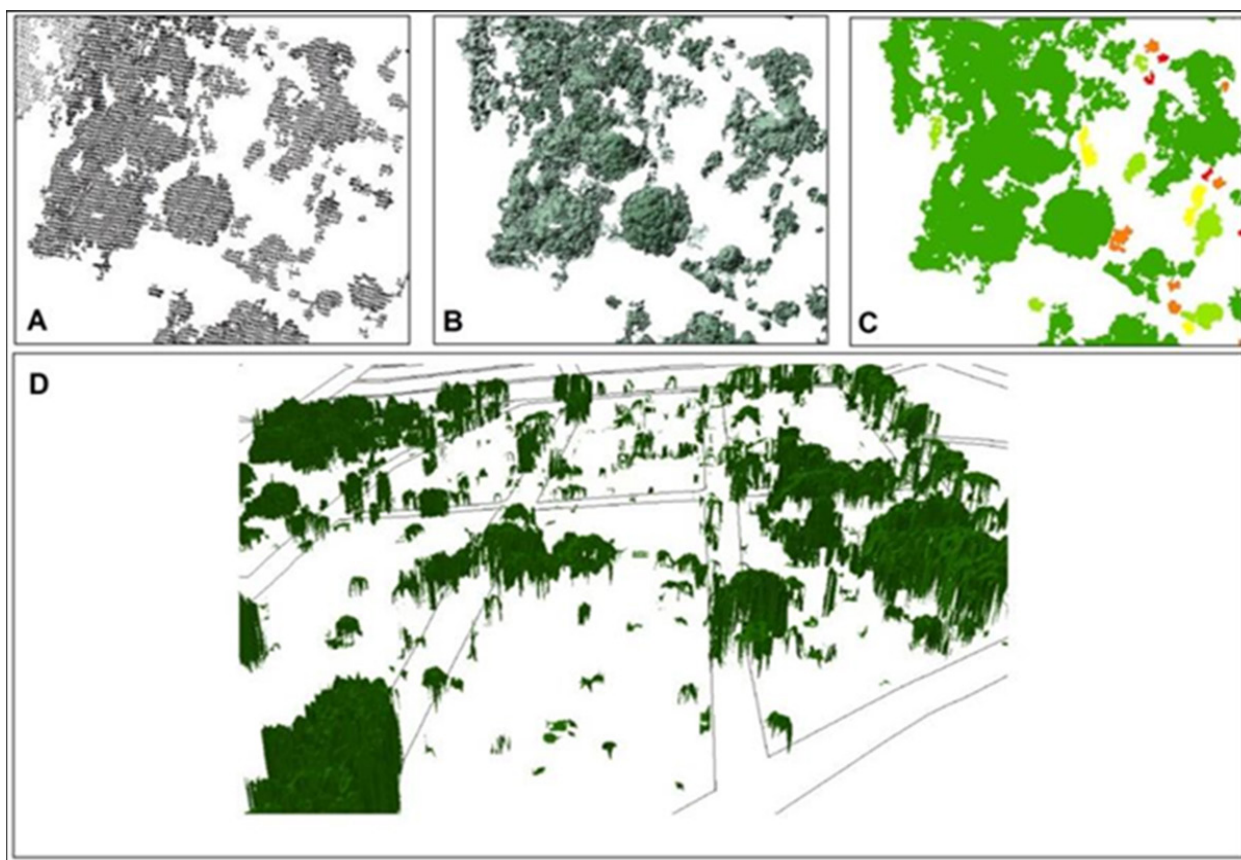


Figura 7 - A) Nuvem de pontos; B) TIN (Triangulated Irregular Network), destacando a vegetação de grande porte; C) Cálculo dos volumes de fragmentos de vegetação; D) Visualização 3D dos fragmentos vegetacionais.

Foram escolhidas quatro áreas para a validação do processo metodológico, entre aquelas que apresentavam maior volume de cobertura vegetal e expressivo volume de edificações. Foram observados os volumes da vegetação (tons de verde na Figura 8) e das edificações (tons de vermelho na Figura 8). As áreas foram visitadas a fim de se realizar levantamento de material fotográfico e inspeção visual dos resultados encontrados durante a etapa de gabinete (Figura 9).

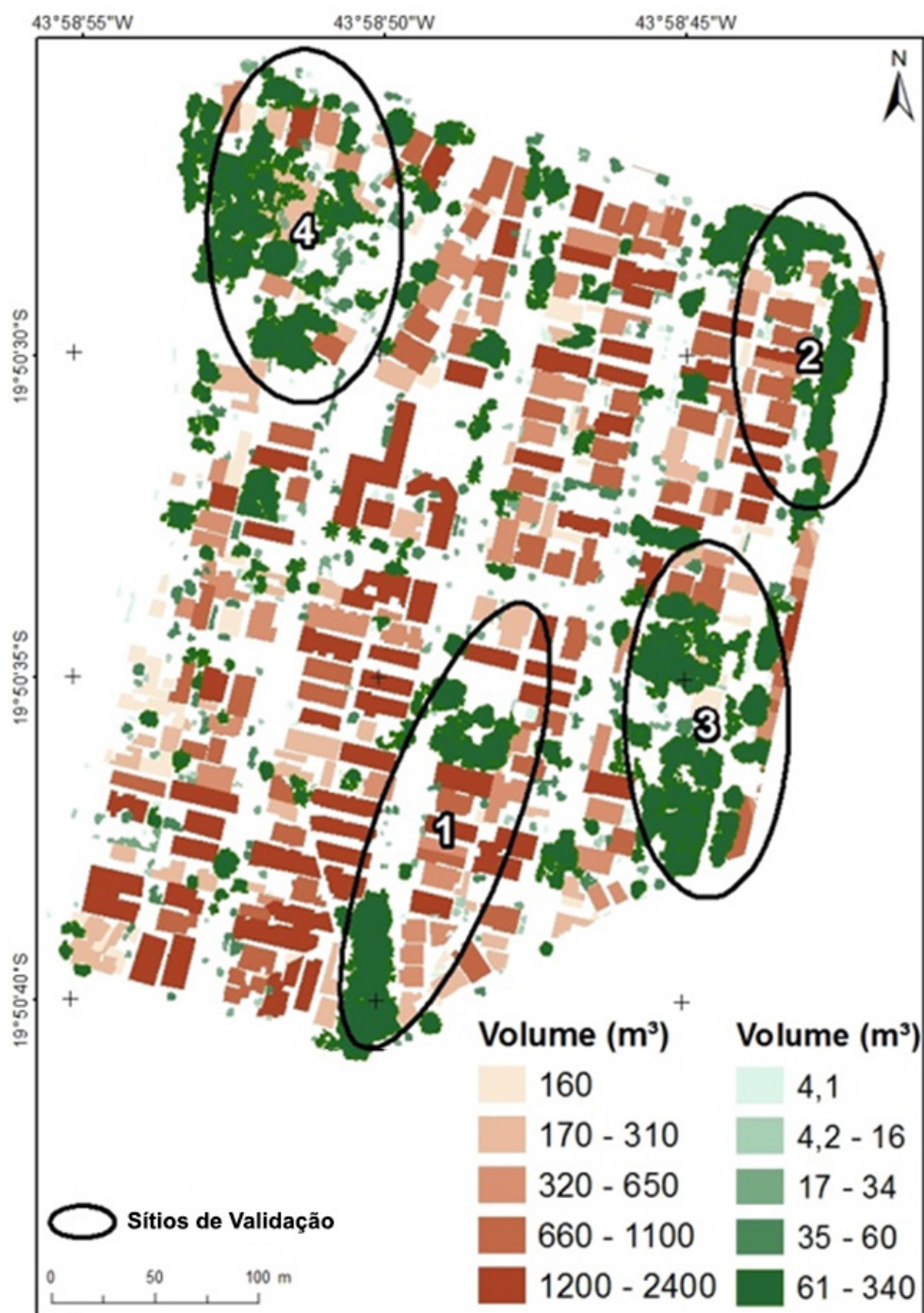


Figura 8 - Resultado do LiDAR associado ao NDVI. Em tons de verde os volumes de vegetação expressiva e em tons de vermelho os volumes de edificações.

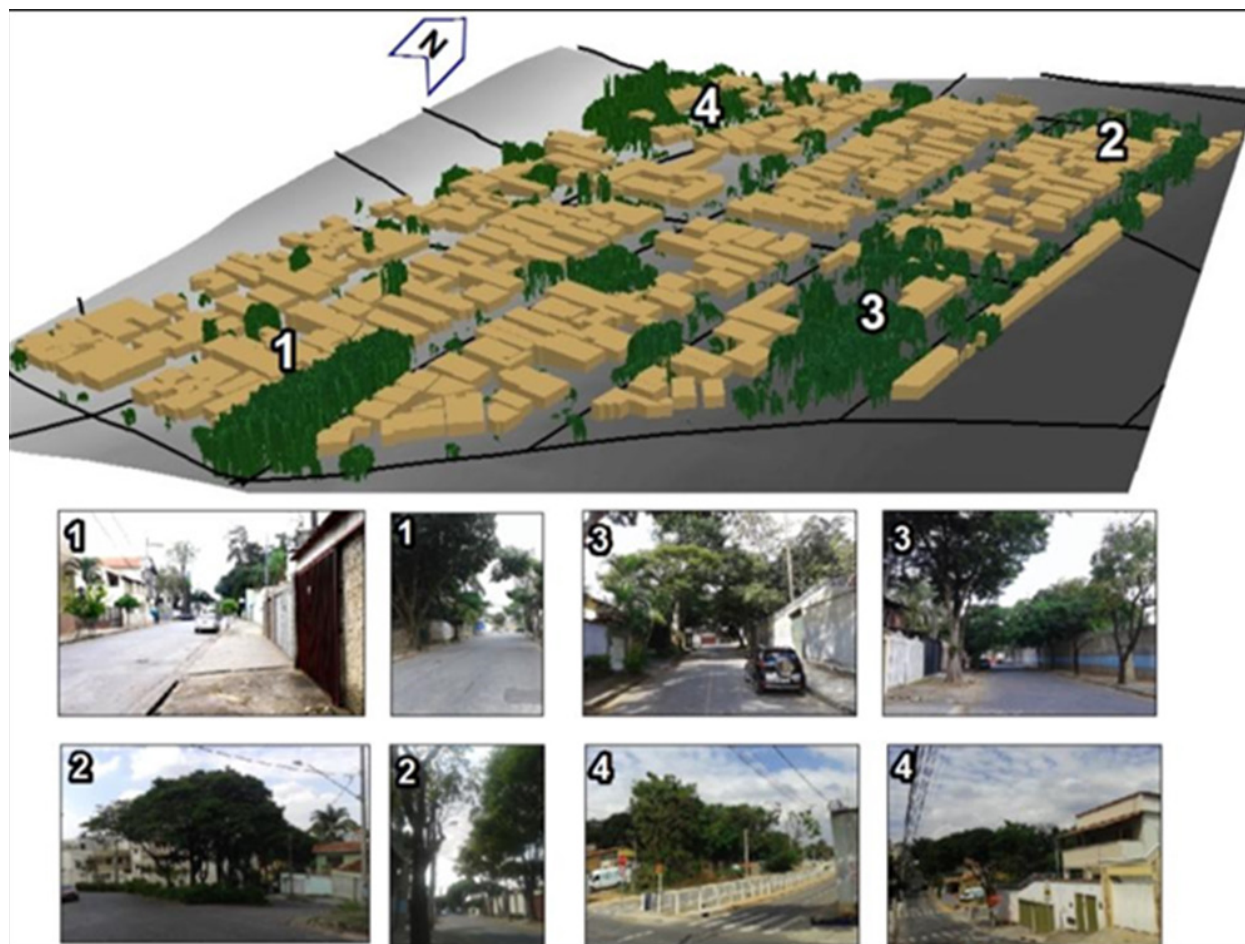


Figura 9 - Modelo 3D e fotografias das áreas de estudo.

Após essa seleção das áreas de validação foi calculado o desvio padrão dos volumes de edificação e de vegetação arbórea expressiva, o que permitiu relacionar as duas variáveis de maneira quantitativa, e não só por inspeção visual, favorecendo a comparação entre a variação do volume de vegetação em relação à variação do volume das edificações.

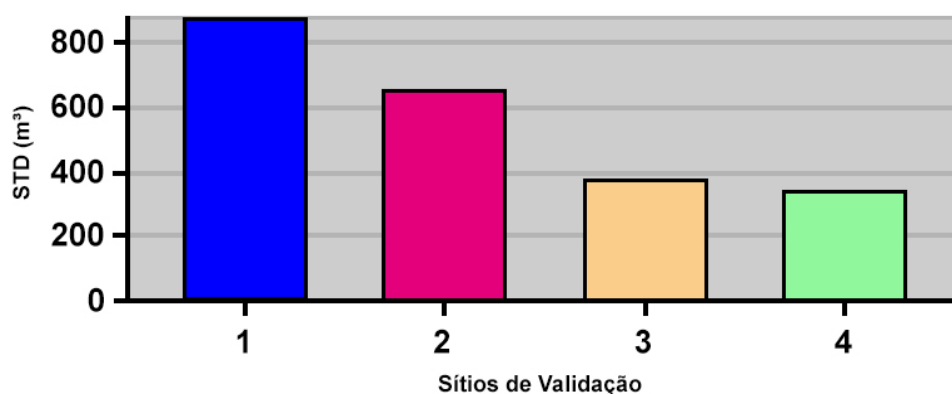


Figura 10 - Desvio padrão entre os volumes edificados por área de validação.

No gráfico da Figura 10 observa-se que a área amostral de validação número 1 apresentou a maior variação do desvio padrão (Standard Deviation - STD) para o volume de edificação, que significa que essa área de amostragem é bastante heterogênea no aspecto das tipologias de ocupação dos lotes. Nesta área há presença de edificações tanto de pequeno porte quanto de grande porte, o que é um indicativo de maior dinâmica de transformação e potencial para alterações, resultantes de possibilidades permitidas pela legislação do uso do solo. As áreas mais homogêneas dentre as

selecionadas são as 3 e 4, nas quais o desvio padrão do volume de edificação tende para o baixo e os volumes em si, também são menores. Este padrão remete a condições de áreas mais estáveis e que merecem ser observadas por ainda possuírem estoque volumétrico para novas construções e alterações. A dinâmica de transformação nesses lugares ainda é baixa, mas há condições que podem favorecer mudanças em função de estoque para volumes maiores, de modo que cabe discutir o que seria a paisagem esperada para o local.

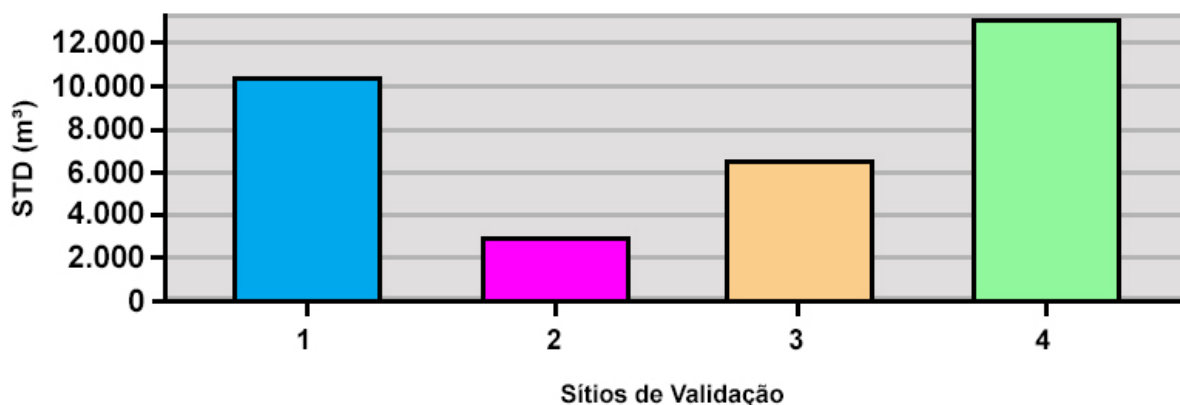


Figura 11 - Desvio Padrão dos Volumes de Fragmentos Vegetais

Na Figura 11, que analisa a variação de STD para volumes de vegetação, foi analisada a relação do volume de vegetação. Comparando os valores obtidos com o desvio padrão dos volumes edificados, observa-se que a variabilidade de condições da vegetação é bem maior. Nota-se a heterogeneidade do volume de vegetação nas áreas estudadas. Na área 4 observa-se um volume mais expressivo de vegetação em relação às demais áreas, mas destaca-se a grande variabilidade de condições entre os fragmentos vegetacionais existentes. Na área 2 há mais volume edificado, muita variabilidade entre esses volumes construídos, e menor expressão nos volumes vegetados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cotejo entre os volumes praticados por edificações e por fragmentos vegetacionais, assim como o estudo da variabilidade dos volumes construídos praticados, assim como a identificação de espaços notáveis do ponto de vista de qualidade ambiental são importantes para o planejamento urbano. Ações como a autorização de instrumentos de negociação volumétrica no uso do solo urbano podem considerar a capacidade de transformação de uma área segundo o equilíbrio volumétrico das paisagens. Entre esses instrumentos podem ser citados a OODC (Outorga Onerosa do Direito de Construir), o TDC (Transferência do Direito de Construir) e as OUC (Operações Urbanas Consorciadas) que são resultantes da lógica do solo criado (BRASIL, 2001).

Metodologias de produção de informação, promoção da visualização e cálculo de valores para se chegar a valores e índices de referência podem auxiliar na preservação de paisagens notáveis, de áreas ambientalmente importantes, ou mesmo colocar condições de negociação como princípios mitigadores da transformação urbana. É possível propor, por exemplo, novos parâmetros de taxas volumétricas de vegetação, taxas de permeabilidade do solo, ou outros fatores que resultem na manutenção ou ampliação da melhoria ambiental, e eles podem ser aplicados em qualquer escala territorial, da parcela, do lote, da quadra ou da zona urbana. É possível, por exemplo, instituir um volume esperado para a vegetação por qualquer unidade territorial, e atuar de forma que na unidade individual este interesse resulte em proteção de um volume de fragmento vegetacional. O Estatuto da Cidade, Lei 10.257/2001 (BRASIL, 2001), deixa claro que a propriedade é particular, mas seu uso deve cumprir um interesse social. Esta definição autoriza ações na escala individual (lote) na soma de propriedades individuais (na quadra ou zona), de modo que o uso final e os parâmetros

aplicados cumpram um interesse coletivo. Isto significa que se for observado que é do interesse da coletividade a manutenção de alguma condição de uso de um lote, por exemplo, a volumetria vegetal, isso pode ser interpretado como de interesse social.

É uma importante ação de gestão urbana a avaliação de possibilidades e atratividades para a construção de novas edificações, seja em lotes vagos ou por incremento do volume construído ou por substituição de antigas edificações de menores volumes para edificações maiores. Processos de simulação e interpretações de potenciais como este podem favorecer a discussão sobre onde há riscos de transformação, e onde a paisagem merece ser mantida por refletir os valores coletivos. Vale ressaltar que para Lynch (1960), na obra “A imagem da cidade” o autor defende a importância do papel da paisagem urbana no cotidiano citadino. Ele escreve: “Entre seus inúmeros papéis, a paisagem urbana também é algo a ser visto e lembrado, um conjunto de elementos do qual esperamos que nos dê prazer.”

São conhecidas as vantagens da arborização para a cidade, pois esta é responsável pela estética, que ajuda na valorização e identificação do lugar; proporciona a socialização e lazer, através de parques e jardins; proteção da biodiversidade local e da reserva de mananciais, responsáveis pelo abastecimento de água para cidade; e a manutenção do equilíbrio ambiental relacionado ao clima, umidade do ambiente, qualidade do ar e controle acústico (LOBODA et. al., 2005).

As áreas verdes são parte indissociável da paisagem que compõem a cidade, responsável pelas sensações, sentimentos e recordações, elementos entendidos como essenciais e que caracterizam a identidade de um lugar - *genius-lóci* -, “num grau de significação e de coerência abrangentes [...]” Benevolo (2004, p.141), onde cada espécime retirado ou inserido sem um estudo adequado compromete a unidade do todo.

Por fim, os dados topográficos oriundos da tecnologia LiDAR, associados aos dados de aerofotogrametria digital com informações sobre a banda do infravermelho que permite o cálculo para identificação da robustez da vegetação, favorecem a análise das volumetrias e o cotejo de fragmentos de vegetação e de áreas edificadas. O objetivo é a análise integrada desses aspectos, favorecendo a visualização e análise das condições das ambiências urbanas, com vistas a dar suporte a decisões sobre parâmetros urbanísticos e definição de modos de ocupação do solo urbano que traduzam valores cidadãos de qualidade ambiental urbana.

AGRADECIMENTOS

CNPq, Call MCTI/CNPQ/MEC/CAPES Nº 22/2014, Process: 471089/2014-1, projeto “Geodesign e Modelagem Paramétrica da Ocupação Territorial”. Agradecemos, em especial, à Prefeitura de Belo Horizonte (Prodabel/PBH) pela autorização de utilização de dados para estudos acadêmicos.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ANTROP, Marc. Landscape change and the urbanization process in Europe. **Landscape and Urban Planning** v. 67, n. 1-4, p. 9–26, 2004.
- BENEVOLO, L. **A cidade e o Arquiteto**. São Paulo: Perspectiva, 2004.
- BESSA, Kelly Cristina, SOARES, Beatriz Ribeiro. Novas espacialidades urbano-regionais perante a expansão do meio técnico-científico-informacional. **Mercator** v. 2, n. 4, p. 19–34, 2003.
- BRASIL. **Estatuto da Cidade**: Lei 10.257 de 10 de julho de 2001. 3. ed. Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2010.
- DUPAGNE, A., HÉGRON, G. Introduction, Architectural and Urban Ambient Environment: **First International Workshop, Nantes, France**, L'École d'Architecture de Nantes, 2002.

- FREIRE, N. C. F., PACHECO, A. P. Aspectos da detecção de áreas de risco à desertificação na região de Xingó. XII. Paper presented at Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto. **Anais**, INPE, Brasil.
- GIONGO M., KOEHLER, Henrique S., MACHADO, Sebastião do A., KIRCHNER, Flavio F., MARCHETTI, Marco. **LiDAR**. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v.30, n. 63, p. 231-244, 2010.
- HOUGHTON, R. A. The Worldwide Extent of Land-use Change. **BioScience** v. 44, n. 5, p. 305–313, 1994. Revised June 2015.
- LOBODA, Carlos Roberto et al. Áreas Verdes Públicas Urbanas. **Revista Ambiência**, v. 1, n. 1, 2005.
- LYNCH, Kevin. **A imagem da cidade**, 3ª Ed. São Paulo, editora Martins Fontes, 2011.
- MASCARÓ, L., MARCARÓ, J. J. **Ambiência Urbana-Urban Environment**. 3ª ed. Porto Alegre: Masquatro Editora, 2009.
- MOONS, T., 1997. **Report on the Joint ISPRS Commission III/IV Workshop “3D Reconstruction and Modelling of Topographic Objects”**, Stuttgart, Germany <http://www.radig.informatik.tu-muenchen.de/ISPRS/WG-III4-IV2-Report.html>(28 Sep. 1999).
- MYNENI, R.B. and Hall, F.G. and Sellers, P.J. and Marshak, A.L. The interpretation of spectral vegetation indexes. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.33, p.481-486, 1995.
- RAFIEE, A., Dias, E., Koomen, E. Local impact of tree volume on nocturnal urban heat island: A case study in Amsterdam. **Urban Forestry & Urban Greening**, v.16, p. 50-61, 2016.
- RIBAS, Rodrigo P., MOURA, Ana Clara M., CARVALHO, Grazielle A., FONSECA, Bráulio M. **Proposição metodológica de extração de altimetria em edificações utilizando dados LiDAR com vista a estudos volumétricos de coeficiente de aproveitamento**. SELPER - La Geoinformacion al Servicio de la Sociedad, 2014.
- ROUSE, J.W., HAAS, R.H., SCHELL, J.A., DEERING, D.W. “Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS”. **Paper presented at Third Symposium of ERTS**, Greenbelt, Maryland, USA. NASA SP-351, V1:309-317.
- TOMÁS, Livia, FONSECA, Leila, ALMEIDA, Cláudia, LEONARDI, Fernando, PEREIRA, Madalena. Urban population estimation based on residential buildings volume using IKONOS-2 images and lidar data, **International Journal of Remote Sensing**, 37:sup1, 1-28, 2016. DOI: 10.1080/01431161.2015.1121301.
- SOUZA, Guilherme H. B., AMORIM, Amilton. LiDAR data integration for 3D Cadastre: some experiences from Brazil. **FIG Working Week 2012: Knowing to manage the territory, protect the environment, evaluate the cultural heritage**. Rome, Italy, 6-10 May, 2012.