

AS ÁRVORES E O CONFORTO TÉRMICO: VARIABILIDADE
ESPACIAL INSTANTÂNEA EM ÁREAS VERDES URBANAS

MICHAEL HENRIQUES PEREIRA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE

DARCY RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
AGOSTO – 2020

AS ÁRVORES E O CONFORTO TÉRMICO: VARIABILIDADE ESPACIAL INSTANTÂNEA EM ÁREAS VERDES URBANAS

MICHAEL HENRIQUES PEREIRA

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Janie Mendes Jasmim

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
AGOSTO – 2020

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pelo autor.

P436 Pereira, Michael Henriques.

AS ÁRVORES E O CONFORTO TÉRMICO : VARIABILIDADE ESPACIAL INSTANTÂNEA EM
ÁREAS VERDES URBANAS / Michael Henriques Pereira. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2020.

130 f. : il.

Bibliografia: 115 - 130.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte
Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2020.

Orientadora: Janie Mendes Jasmim.

1. Arborização Urbana. 2. Geoestatística. 3. Sky View Factor. I. Universidade Estadual do
Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630

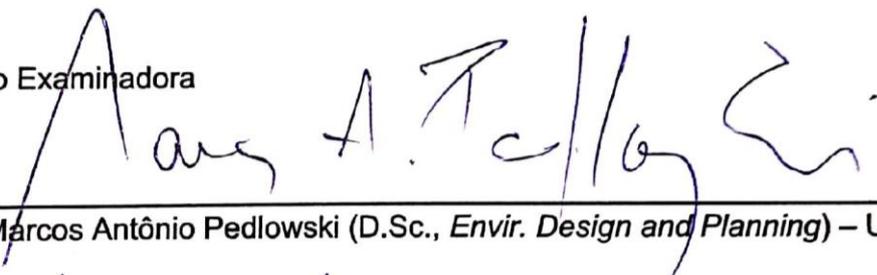
AS ÁRVORES E O CONFORTO TÉRMICO: VARIABILIDADE
ESPACIAL INSTANTÂNEA EM ÁREAS VERDES URBANAS

MICHAEL HENRIQUES PEREIRA

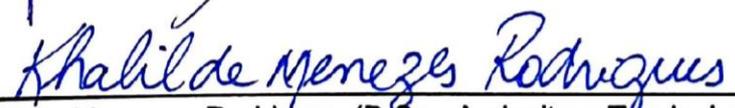
Dissertação apresentada ao Centro de
Ciências e Tecnologias Agropecuárias da
Universidade Estadual do Norte Fluminense
Darcy Ribeiro, como parte das exigências
para obtenção do título de Mestrado em
Produção Vegetal

Aprovado em 05 de agosto de 2020

Comissão Examinadora


Prof. Marcos Antônio Pedlowski (D.Sc., *Envir. Design and Planning*) – UENF


Prof. José Carlos Mendonça (D.Sc., *Produção Vegetal*) – UENF


Prof. Khalil de Menezes Rodrigues (D.Sc., *Agricultura Tropical e Subtropical em
Gestão dos Recursos Agroambientais*) – UFMA


Profa. Janie Mendes Jasmim (D.Sc., *Produção Vegetal*) – UENF
(Orientadora)

Em memória

Andiara Leão

Dedico

AGRADECIMENTOS

À professora Janie Mendes Jasmim pela amizade, orientação e atenção sem igual nestes dois anos, e a todos os seus orientandos, em especial Mariana que me ajudou por diversas vezes, fora as atividades paralelas (já inventaríamos 440 árvores do *campus* Leonel Brizola, sem contar nas ruas e praças);

Ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal pela oportunidade de realização do curso;

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro pela estrutura e equipamentos utilizados nesta pesquisa, assim como pela bolsa de estudo concedida;

A toda minha família e, em especial, à minha avó Maria, que já está há vários meses em total isolamento social.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1. Arborização urbana: um serviço ecossistêmico	5
2.2. Conforto térmico	8
2.3. Temperatura Média Radiante	11
2.4. <i>Sky View Factor</i> (SVF).....	13
2.5. Índices de conforto térmico	16
2.5.1. <i>Universal Thermal Climate Index</i> - UTCI	16
2.5.2. <i>Predicted Mean Vote</i> - PMV	18
2.6. Fenômenos espaciais e geoestatística.	19
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3.1. Parte I – Variabilidade espacial de índices <i>Sky View Factor</i> e do conforto térmico na Praça do Santíssimo Salvador: cenários de simulação.	30
3.1.1. Caracterização da área de estudo.....	30
3.1.2. Construção dos modelos de simulação	32
3.1.3. Análises espaciais de índices <i>Sky View Factor</i> (SVF).....	34
3.1.4. Análises espaciais do conforto térmico.....	37

3.1.5. Estatística descritiva e testes	38
3.2. Parte II – Comportamento em microescala do efeito de bordadura de um arvoredo: bases estáticas e variabilidade espacial de índices <i>Sky View Factor</i> e do conforto térmico.	38
3.2.1. Caracterização da área de estudo	38
3.2.2. Análises estáticas de temperatura e umidade relativa do ar e <i>Sky View Factor</i>	39
3.2.3 Avaliações Espaciais do SVF	41
3.2.4 Avaliação espacial do conforto térmico instantâneo	43
3.3. Parte III – Avaliação da continuidade espacial dos componentes da percepção térmica e da <i>Universal Temperature Climate Index</i> (UTCI), em áreas verdes de Campos dos Goytacazes, RJ.	43
3.3.1. Caracterização das áreas de estudo.	44
3.3.1.1. Horto Municipal	44
3.3.1.2. Jardim São Benedito	45
4. RESULTADO E DISCUSSÃO.	47
4.1. Parte I – Variabilidade espacial de índices <i>Sky View Factor</i> e do conforto térmico na Praça do Santíssimo Salvador: cenários de simulação.	47
4.1.1 Análise de performance das análises espaciais.	47
4.1.2. <i>Sky View Factor</i> : Praça do Santíssimo Salvador	49
4.1.3. Variabilidade espacial: UTCI e PMV	66
4.2. Parte II: Comportamento em microescala do efeito de bordadura de um arvoredo: bases estáticas e variabilidade espacial de índices <i>Sky View Factor</i> e do conforto térmico.	80
4.2.1. Bases estáticas.....	80
4.2.2. Análises espaciais de <i>Sky View Factor</i> e <i>Universal Temperature Climate Index</i>	89
4.3. Parte III – Avaliação da continuidade espacial dos componentes da percepção térmica e da <i>Universal Temperature Climate Index</i> (UTCI) em áreas verdes de Campos dos Goytacazes, RJ.	96
5. RESUMO E CONCLUSÕES	111
RECOMENDAÇÕES.....	113
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	115

RESUMO

PEREIRA, Michael Henriques, Eng. Agrônomo, M.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Agosto de 2020. As árvores e o conforto térmico: variabilidade espacial instantânea em áreas verdes urbanas. Orientadora: Prof^a Dr^a Janie Mendes Jasmim.

Árvores desempenham diversas funções ecossistêmicas e nas cidades estão relacionadas à melhoria das condições microclimáticas. Nessa pesquisa estudaram-se espacialmente os atributos que desempenham papel na construção da percepção térmica individual em áreas verdes no verão em Campos dos Goytacazes (RJ), utilizando-se a geoestatística. Na parte I foram construídos cinco cenários de simulação (CS) baseados na Praça do Santíssimo Salvador, no software *Rayman Editor*, sendo: CS1 a configuração atual da Praça; CS2 a configuração anterior à atual; CS3, CS4 e CS5, com a inclusão de árvores para adição progressiva de sombra. A partir desses modelos, foram processados *Sky View Factor* (SVF) utilizando-se o software *Sky Helios* uma malha fixa de 1x1m; e numa malha aleatória de 52 pontos na Praça, simulando uma amostragem fotográfica. Além da percepção térmica, *Universal Temperature Climate Index* (UTCI) e *Predicted Mean Vote* (PMV) por processamento dos mesmos 52 pontos. Além da temperatura (TA) e umidade do ar (UR%) (comuns entre os CS), foi modelada para cada ponto de cada CS a temperatura média radiante (T_{mrt}) pelo software *Solweig 1D*, que alimentou o software *Rayman Pro* para os cálculos de UTCI e PMV. Todos os pontos foram processados por estatística espacial com o

software Surfer 18. Uma comparação de SVF, UTCI e PMV foi realizada por teste t utilizando os 52 pontos para cada CS. Na parte II, um arvoredo, um gramado adjacente e a região de transição entre eles, foram estudados utilizando-se bases estáticas instaladas nessas áreas, sendo avaliados: TA, UR%, Tmrt (*Solweig 1D*) e UTCI em uma média de quatro períodos do dia (madrugada, manhã, tarde e noite) em quatro dias ensolarados consecutivos. Além disso, comparou-se a reconstituição espacial de SVF pelo método descrito na parte I, e utilizando-se registro fotográfico. Foi realizada uma análise espacial instantânea de conforto térmico com base nos pontos de obtenção do SVF por fotografias. Na parte III, para entender a continuidade espacial das variáveis até aqui mencionadas, utilizaram-se variogramas de registros instantâneos no Horto Municipal, Jardim São Benedito e Praça do Santíssimo Salvador. A Tmrt e UTCI para esta parte foram obtidas como já descrito. Na parte I observou-se que embora o processamento do SVF (*Sky Helios*) mostre os detalhes do ambiente com extrema precisão, a simulação fotográfica (52 pontos) pode explicar o ambiente com razoabilidade, a depender do nível de detalhamento requerido e do próprio ambiente. A Tmrt é sensível a curtas distâncias e prejudica a performance da reconstituição geoestatística neste nível de amostragem. A CS5 apresentou maior conforto térmico por área e pode ser considerada para futuras remodelações da Praça. Na parte II, a Tmrt prejudicou o conforto térmico seja no período noturno ou diurno. Os métodos de obtenção de SVF diferiram por teste t, mas produziram variabilidade espacial semelhante. A mudança de percepção térmica entre o arvoredo e o gramado é abrupta. A parte III mostrou que a TA varia pouco na dimensão estudada. A Tmrt tem forte variabilidade espacial a curtas distâncias, sendo principal fator atuando na variabilidade espacial do conforto térmico nas áreas estudadas.

Palavras chave: arborização urbana; geoestatística; *Sky View Factor*

ABSTRACT

PEREIRA, Michael Henriques, Agronomist, M.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. August, 2020. Trees and thermal comfort: instant spatial variability in urban green areas. Supervisor: Prof. Dr. Janie Mendes Jasmim.

Trees perform various ecosystem roles and are related to the improvement of microclimatic conditions in the cities. In this research the attributes that play a role in the construction of the individual thermal perception in green areas were studied spatially, in the summer in Campos dos Goytacazes (RJ), using geostatistics. In part I five simulation scenarios (CS) were built, based on the Santíssimo Salvador Square landscape design, using Rayman Editor: CS1- the current Square configuration; CS2- the previous configuration; CS3, CS4 and CS5, with the inclusion of trees for progressive shadow addition. From these models, SVF images were processed using Sky Helios in a fixed 1x1m mesh; and in a random 52-point mesh simulating a photographic sampling. In addition, the Universal Temperature Climate Index (UTCI) and Predicted Mean Vote (PMV) thermal perception were calculated by processing the same 52 points. Besides the temperature (AT) and air humidity (UR%) (common among the CS), the mean radiant temperature (T_{mrt}) was modeled for each point in each CS using Solweig 1D, which fed the Rayman Pro for UTCI and PMV calculations. All points were processed by spatial statistics with Surfer 18. A comparison of SVF, UTCI and PMV was performed by t test using the 52 points for each CS. In part II, a grove, an adjacent lawn and the transition area between them, were studied using static bases installed in these three areas,

evaluating: AT, UR%, Tmrt and UTCI means during four periods of the day (dawn, morning, afternoon and night) in four consecutive sunny days. In addition, the spatial reconstitutions of SVF were compared using the method described in part I and photographic data. An instantaneous spatial thermal comfort analysis was also performed based on the same points of SVF photographic data. In part III, to understand the spatial continuity of the variables mentioned so far, variogram of instantaneous records at Horto Municipal, Jardim São Benedito and Santíssimo Salvador Square were used. The Tmrt and UTCI for this part were obtained with the already described methods. In part 1 it was observed that although the processing of the SVF (Sky Helios) shows the details of the environment with extreme precision, the photographic simulation (52 points) can reasonably explain the environment, depending on the level of detail required and on the environment itself. The Tmrt is sensitive to short distances and compromises the performance of geostatistical reconstitution at this sampling level. Scenario CS5 showed greater thermal comfort per area and can be considered for future remodeling of the Square. In part II, Tmrt had a negative effect on thermal comfort both at night and day. The methods of obtaining SVF differed by t-test, but produced similar variabilities. The change in thermal perception between the grove and the lawn is abrupt. Part III showed that the AT varies little in the area dimension studied. The Tmrt has strong spatial variability at short distances and was the main factor affecting the spatial variability of the thermal comfort in the studied areas.

Keywords: geostatistics; urban forestry; *Sky View Factor*

1. INTRODUÇÃO

A população urbana aumenta significativamente frente à crescente população mundial. Este aumento do número de pessoas exerce uma grande pressão nas cidades, limitando a sua capacidade de fornecer qualidade de vida para a população que nelas vivem (Koç, 2015).

A qualidade de vida considerada num sentido amplo engloba aspectos físicos, econômicos, sociais e psicológicos. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), a saúde não significa um status de uma determinada condição de ausência de enfermidade, mas sim, um estado físico, mental e de bem-estar social, sendo a qualidade de vida definida como a percepção da vida em um contexto amplo sobre a cultura, valores, objetivos, expectativas, padrões e preocupações (WHO, 2006).

Nas cidades, os espaços verdes consistem em infraestruturas que atuam na contribuição para o alcance dos aspectos anteriormente mencionados, minimizando os efeitos negativos, por exemplo, quando é oferecido um local para recreação ou simplesmente para repouso. Já foi observado que pessoas previamente submetidas às condições de fadiga e estresse, quando foram expostas às imagens de ambientes com vegetação arbórea, tiveram melhora do seu estado mental e recuperaram sua capacidade de foco, concentração e de coerência (Lin et al., 2014), reforçando a importância do verde urbano para a população das cidades.

Outros aspectos relevantes são as características climáticas das áreas urbanas que, de forma geral, são o resultado de modificações que as superfícies, materiais e as atividades humanas provocam nos balanços de energia, massas e movimentos (Arnfield, 2013).

A utilização da vegetação nas cidades tem sido comumente apontada como uma das ferramentas disponíveis para melhorar as condições climáticas, assim como para proporcionar conforto ambiental e, conseqüentemente, melhoria da qualidade de vida da população; em especial as árvores são mencionadas como um elemento capaz de minimizar os efeitos da alteração do clima causado por ações antrópicas (Dimoudi, 2003). No âmbito das áreas verdes, possivelmente o benefício mais direto proporcionado pelas árvores acontece pelo fornecimento de sombra aos usuários que normalmente, nesse ramo da climatologia é estudada por *Sky View Factor* (SVF), uma razão de visibilidade do céu do ponto de vista do observador no solo, que varia de zero a um (Oke, 1988).

Existe certa complexidade em relação aos termos utilizados para designar os espaços urbanos: termos como áreas verdes, espaços livres e parques urbanos são comumente utilizados para se referir a vegetação das cidades, porém esses termos que não são sinônimos, referem-se a diferentes tipos de infraestruturas urbanas (Bargos e Matias, 2011).

Devido às evidências de que os parques urbanos em conjunto com a arborização melhoram a qualidade do meio urbano, a importância e interesse em pesquisar a influência desses elementos no conforto humano cresce em todo o mundo (Kántor e Unger, 2010).

O conforto térmico humano é um status de opinião que expressa a satisfação que um determinado indivíduo tem com o ambiente do entorno (ASHRAE, 2001). As árvores urbanas podem atuar modificando condições de temperatura e umidade relativa do ar, isto é, afetando diretamente a percepção do conforto térmico de um indivíduo (Nowak et al., 2002).

Os primeiros estudos da climatologia urbana se concentraram no estudo do fenômeno das chamadas 'ilhas de calor' em áreas urbanas, em que a intensidade desse fenômeno está positivamente correlacionada ao tamanho da cidade (Oke, 1981). Alguns autores, ao observarem resultados da formação dessas ilhas, evidenciaram a contribuição importante das áreas verdes em reduzir a intensidade deste fenômeno (Gago et al., 2013). Sendo assim, os esforços de

pesquisas para mitigar as ilhas de calor no meio urbano têm sido direcionados para aspectos que variam desde o design dos espaços (Norton et al., 2015) até o tipo de espécies (Bueno-Bartholomei e Labaki, 2013) utilizadas para a arborização de parques urbanos.

Uma vez conhecidos os fenômenos que atuam na macroescala, o próximo passo é investigar os níveis de conforto térmico nas diferentes zonas no interior do parque urbano, possibilitando assim a identificação das fontes de desconforto, e consistindo em uma importante ferramenta de decisão para gestores e projetistas (Mahmoud, 2011).

Sendo os parques urbanos normalmente constituídos por áreas bastante heterogêneas, é possível que dentro destes ambientes ocorra uma variação espacial detectável dos atributos microclimáticos, e isso abre a possibilidade de investigar a existência de um padrão de continuidade que é modificado pelos elementos ali presentes, como: tipos de superfícies, edificações e árvores. Se em uma área relativamente pequena houver tais padrões de modificação (dependência espacial), então é possível mapeá-los, interpretá-los e fornecer sugestões de intervenções no ambiente para melhorar o conforto térmico.

Essa possível variabilidade espacial pode ser estudada por meio da geoestatística, a qual pode ser definida como um ramo da estatística utilizado para analisar pontos que estão associados a um fenômeno qualquer que varia no espaço (Harder e Brown, 2017).

Não é raro que mudanças na paisagem da cidade sejam realizadas sem a devida atenção ao conforto térmico, porém por meio de simulações da vegetação arbórea com a entrada de informações dendrológicas (diâmetro a altura do peito-DAP; altura total da árvore; altura da copa da árvore, ou seja, subtraindo a altura do fuste; espécie; etc.), com um viés para modelar ambientes que foram profundamente modificados ao longo do tempo, criando assim estimativas de como são, como eram, e o potencial de como esses espaços verdes urbanos podem se tornar e oferecer, caso sejam submetidos às mudanças apropriadas em seu planejamento.

Não apenas em Campos dos Goytacazes (local objeto deste estudo), mas em todo o estado do Rio de Janeiro, as temperaturas extremas que ocorrem no verão são assunto de frequente discussão entre as pessoas, tendo em vista o nível do estresse ao qual corriqueiramente a população está exposta. Sendo assim, este

trabalho objetiva utilizar técnicas e ferramentas que identifiquem as características de conforto térmico espacial instantâneo em áreas verdes em Campos dos Goytacazes.

O contexto norteador para a realização dessa pesquisa baseia-se na hipótese central de que os elementos que constroem a percepção térmica de um indivíduo ao nível da escala de típicas infraestruturas verdes urbanas, como praças e parques, possuem uma variabilidade espacial que é dotada de uma continuidade no espaço. Dessa forma, objetivou-se no verão campista: (Parte I) comparar a reconstituição espacial por geoestatística de SVF com malhas bastante diferentes em cenários de simulação para avaliar a habilidade de ambientes com a adição progressiva de árvores (sombra) em melhorar o conforto térmico instantâneo nesses cenários, tendo a Praça do Santíssimo Salvador como objeto de estudo; (Parte II) avaliar o comportamento microclimático de um arvoredado, do gramado adjacente e da sua área de transição, avaliando como é a transição de SVF e do conforto térmico entre essas duas áreas; e (Parte III) avaliar a continuidade espacial de elementos que constroem a percepção térmica, a saber, temperatura e umidade relativa do ar, *Sky View Factor* (SVF), temperatura média radiante (T_{mrt}), bem como a continuidade espacial do próprio conforto térmico, aqui estudada pelo *Universal Temperature Climate Index* (UTCI).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Arborização urbana: um serviço ecossistêmico

O conceito de ecossistema é bastante antigo, mas o interesse em observá-lo como um objeto de pesquisa é, de certa forma, recente. A forma como estudamos os ecossistemas tem ganhado importância no sentido de explorar a interação entre os componentes bióticos e abióticos, o bem-estar das populações e seus impactos, e na avaliação dos efeitos dos fluxos de serviços prestados por estes ecossistemas sobre a sua capacidade de fornecer benefícios à sociedade (Andrade e Romero, 2009). O conceito de ecossistema pode ser definido como o conjunto da interação das espécies e o ambiente abiótico, que funcionam juntos buscando um constante equilíbrio para uma vida sustentável (Moll, 1989).

A relação do homem com a vegetação varia com o passar do tempo, sendo vista de maneira diferente entre os povos ao longo da história (Bonametti, 2003). Enquanto alguns povos consideraram que a presença de plantas era de alta relevância para a sua sobrevivência em sociedade, para outros elas tinham um caráter simplesmente estético. Na atualidade, a presença da vegetação dentro da zona urbana vem adquirindo cada vez maior importância, pois reduz a artificialidade do meio, melhora os atributos do microclima local, e melhora diferentes índices, como o nível de poluição do ar (Bonametti, 2003).

No Brasil, o crescimento não planejado das cidades, desperta o interesse dos planejadores e da própria população no sentido de ter a vegetação como um componente necessário ao espaço urbano. Diante dessa necessidade, a arborização urbana passa a ser vista como um elemento natural que tem a capacidade de reestruturar o espaço urbano, especialmente em locais com elevados índices de edificação que são desprovidos de cobertura vegetal (Carvalho, 1982).

As árvores encontradas nas áreas verdes e/ou que acompanham o sistema viário cumprem uma função ecológica, ou função ecossistêmica, no sentido em que permitem a melhoria do ambiente urbano e estética das cidades (Rodrigues et al., 2008). As chamadas funções ecossistêmicas podem ser definidas como o resultado das interações existentes nos elementos que constituem os ecossistemas e incluem a transferência de energia, ciclagem de nutrientes do solo, regulação de gases, regulação térmica atmosférica e do ciclo hidrológico (Daly e Farley, 2004). Essas funções ecossistêmicas são relevantes, pois é por meio destas que são gerados os chamados serviços ecossistêmicos, que são os benefícios diretos e indiretos obtidos e oferecidos “sem custo” ao homem a partir dos ecossistemas (Andrade e Romero, 2009).

Entre as funções ecossistêmicas fornecidas nas quais a arborização urbana está envolvida podem-se citar: a purificação do ar pela fixação de poeiras e gases tóxicos (Beckett et al., 1998; Nowak, et al., 2006; Escobedo et al., 2011) e a reciclagem de gases pelo mecanismo da fotossíntese (Winner, 1994); a melhoria dos índices microclimáticos (Martini et al., 2013), além do fornecimento do sombreamento, de tal modo que os raios solares não incidam diretamente sobre as pessoas (Aminipouri et al., 2019). Pode-se ainda mencionar: a redução da velocidade do vento (Rosenfeld et al., 2010); a influência positiva no balanço hídrico (Marchionni et al., 2019), favorecendo a infiltração da água no solo; fornecimento de abrigo à fauna (Gibb e Hochuli, 2002; Jones e Leather, 2012), propiciando uma maior diversidade de espécies, consequência positiva para um maior equilíbrio dos fluxos alimentares e a diminuição de pragas, e agentes vetores que são causadores de doenças; além da supressão de ruídos (Herrington, 1974; Rodrigues, 2008).

A melhoria das condições microclimáticas cria uma série de modificações no desenvolvimento e nos hábitos nas cidades, pois, controlando-se as origens do desconforto térmico, a prática de exercícios físicos é aumentada, ocorre um

estímulo para a substituição do transporte individual por transportes coletivos, além de se estimular o deslocamento por ciclovias ou até mesmo a pé, quando possível (Nikolopoulou et al., 2001).

Assim, um dos principais objetivos da arborização urbana é minimizar os efeitos intrínsecos que a cidade causa na percepção da temperatura. Este fenômeno é comumente descrito como “ilhas urbanas de calor” e sua causa tem origem nas grandes superfícies que têm a capacidade de absorver calor sem dissipá-lo (Bolund e Hunhammar, 1999). Shashua-Bar et al. (2010) ao realizarem experimentos microclimáticos em uma escala controlada com diversos arranjos paisagísticos numa passagem de pedestres, observaram que ao meio dia houve um aumento significativo do conforto térmico experimentado pelos usuários, quando no ambiente havia uma combinação de vegetação arbórea e de forração do tipo gramado.

A redução da temperatura pela vegetação também foi observada por Martini et al. (2013) que, investigando o conforto térmico nas ruas da cidade de Curitiba-PR, descobriram que os melhores índices de conforto térmico foram obtidos em ruas arborizadas, independentemente da época do ano, concluindo que a cobertura arbórea leva a uma condição de melhor conforto térmico para os usuários.

Existem outros benefícios decorrentes da vegetação urbana no que tange à percepção psicológica do ser humano. Algumas pesquisas têm mostrado que existe uma forte relação entre a vegetação e o bem-estar psicológico, correlacionando-os positivamente, como por exemplo, na capacidade de atenção e na velocidade de restauração mental (Lin et al., 2014), e benefícios comportamentais de maneira geral (Kuo e Sullivan, 2001; Kuo, 2003).

Tang et al. (2017) analisaram imagens de ressonância magnética e observaram que importantes áreas do cérebro de voluntários foram mais ativadas e estimuladas quando os indivíduos foram expostos a imagens contendo paisagens com árvores, do que quando observavam outras imagens comuns do ambiente urbano. Os pesquisadores observaram que estas áreas que foram ativadas estão relacionadas, principalmente, à capacidade de atenção e de concentração.

Kaplan (1995) analisando como a arborização urbana atenua os efeitos do estresse pessoal, concluiu que os ambientes que possuem elementos naturais (como as árvores urbanas) não apenas ajudam a reduzir o estresse nas pessoas,

mas também auxiliam na prevenção do estresse, conferindo-lhes resiliência aos distúrbios individuais.

Kuo e Sullivan (2001) ao estudarem a relação da vegetação urbana com a prática de crimes na cidade de Chicago, avaliando cerca de cem locais que apresentavam diferentes índices de vegetação, observaram uma correlação negativa entre a vegetação e o número de crimes cometidos. Além de que os moradores de áreas consideradas mais verdes reportaram menores índices de medo, menor incivilidade e comportamentos, de maneira geral, menos violentos e agressivos. De maneira similar, na cidade de Portland no Oregon, Donovan e Prestemon (2010) também observaram que em locais públicos com maior número de árvores, o número de crimes também era menor. Além disso, os mesmos autores concluíram que casas com árvores pequenas plantadas de modo a obstruir a visão do interior (cercas-vivas) estavam relacionadas com vandalismo e crimes, enquanto árvores maiores distribuídas pelas propriedades se relacionavam com menor ocorrência desses tipos de acontecimentos.

Assim, fica claro que a vegetação urbana, em especial a arbórea, oferece um serviço socioambiental, que não se resume apenas à função ecossistêmica objeto deste estudo, que é o conforto térmico, mas está muito além, dentro de perspectivas sensoriais e psíquicas.

2.2. Conforto térmico

De acordo com Fabbri (2015) e Streinu-Cercel (2008), os estudos relacionados ao conforto térmico foram iniciados ainda na primeira metade do século XX, com Adolf Pharo Gagge que precisava resolver problemas estressantes relacionados ao seu local de trabalho. Os seus estudos deram origem aos trabalhos pioneiros nesse ramo (Gagge et al., 1967; Gagge et al., 1969). Nos anos 70, pesquisas fundamentais como a amplitude de temperatura máxima e mínima aceitáveis, umidade do ar e níveis de atividade física foram desenvolvidos, podendo-se destacar as contribuições de Fanger (Fanger et al., 1974). Essas pesquisas foram pioneiras em transformar o conforto térmico em uma disciplina de estudo.

A percepção térmica está diretamente ligada à subjetividade do indivíduo que está exposto a uma determinada condição. Entre os fatores que constroem a percepção térmica estão, primariamente, os físicos, fisiológicos e psicológicos. Os fatores físicos compreendem a relação de troca de calor entre o meio e o corpo; os fisiológicos estão relacionados às diferentes respostas do organismo em condições de alteração, neste sentido relaciona-se com a resiliência do corpo humano quando em exposição contínua a um fator de desconforto e, por último, questões psicológicas que estão ligadas à percepção, que é construída da experiência anterior e também da expectativa individual (Lamberts, 2016).

Normalmente o conforto térmico é definido como consta na norma Standard 55 da ASHRAE (2001): uma condição de estado em que um indivíduo se encontra confortável com a temperatura do ambiente onde permanece. Segundo Spelić et al. (2019), isso significa dizer que se um determinado indivíduo está exposto a uma temperatura média constante, então as saídas de calor do corpo devem ser equivalentes às entradas de calor no corpo.

Se o saldo desse balanço for positivo, então o corpo humano adota como principal estratégia para eliminar o calor latente a produção de suor; se o saldo for negativo, então o corpo precisa aumentar a produção interna de calor, e tem como principal estratégia os tremores rítmicos e involuntários característicos de quando sentimos frio, além do tensionamento dos músculos a fim de reduzir a perda de calor para o ambiente (Fanger, 1973).

Como explanado por Diller et al. (2013), o transporte de calor em qualquer tecido vivo envolve mecanismos variados: condução, convecção, radiação, metabolismo, evaporação e trocas de meio; enquanto o balanço com o ambiente é realizado por trocas de calor por entrada e saídas. Embora as respostas e as percepções individuais possam variar de pessoa para pessoa, e essas ainda não são muito bem entendidas, os modelos de índices e ferramentas de simulação possibilitam a construção de ambientes que são sempre de grande importância porque fornecem a possibilidade de integrar diversos conhecimentos de várias perspectivas e possibilitam a comparação entre diferentes cenários urbanos (Chen et al., 2012).

As pesquisas sobre conforto térmico procuram analisar e estabelecer as condições que são fundamentais para o planejamento e construção de um ambiente térmico que é adequado às mais variadas atividades humanas, assim

como desenvolver metodologias para uma rápida e detalhada possível avaliação do ambiente (Lambertz, 2016).

Como característica do ambiente externo, pode-se dizer que há uma grande complexidade ao estudá-lo, já que este meio normalmente apresenta grande variabilidade espacial. Para estudar um ambiente externo, deve-se ter em mente que ele varia temporalmente e espacialmente, e que o conforto térmico é amplamente afetado não apenas por estas variáveis, mas também pelas atividades que as pessoas realizam (Nikolopoulou et al., 2001).

Existem diversas metodologias que foram desenvolvidas com o objetivo de avaliar o conforto térmico em áreas verdes ou qualquer área de circulação aberta. Essas metodologias derivam de variáveis físicas, como temperatura e umidade relativa do ar, até aquelas que se baseiam na direta percepção do usuário e no seu comportamento no parque, como por exemplo, na escolha da área ou horário de utilização; e ainda outras com base em uma mescla entre parâmetros físicos e subjetivos (Chen et al., 2012).

Na Hungria, Kántor e Unger (2010) conseguiram estabelecer uma relação baseada entre o conforto térmico e um padrão de comportamento de utilização das diferentes áreas de um parque urbano pelos seus usuários. Estes autores observaram que existe uma evidente mudança no padrão de comportamento das pessoas nos parques urbanos frente às diferentes condições térmicas, e que essas mudanças consistem em adaptações de vestimentas, posicionamento dentro do parque e da atividade que estão realizando.

Thorsson et al. (2007) combinaram dados físicos das condições de sensação térmica obtidos em um parque urbano arborizado e uma praça no Japão, com respostas obtidas por meio de entrevistas e observando o comportamento das pessoas, chegaram à conclusão de que a quantidade de pessoas que utilizam esses lugares é afetada diretamente pela condição térmica, com as pessoas preferindo permanecer em lugares que tinham maior capacidade de fornecimento de sombra, em uma análise que é preciso levar em consideração a intensidade do verão japonês.

Avaliando o conforto térmico e padrões de comportamento dos usuários em Goteborg, na Suécia, Thorsson et al. (2004) também observaram que a utilização do parque está condicionada ao status térmico no parque, ao seu acesso e ao seu arranjo interno, no verão e no inverno. Os autores relatam que quando as condições

térmicas se tornam desfavoráveis (seja este estresse causado por baixas ou altas temperaturas), as pessoas no parque adotam estratégias para reverter essa situação, consciente ou inconscientemente. Por exemplo, esses autores observaram que o aumento da temperatura média radiante, correlaciona-se positivamente com a porcentagem de pessoas em locais de sombra.

Dentre os estudos sobre o conforto térmico no espaço aberto, as árvores sempre estão em destaque especial dentre os elementos que contribuem para a redução da temperatura. Martini et al. (2013), investigando o conforto térmico nas ruas da cidade de Curitiba-PR, descobriram que os melhores índices de conforto térmico foram obtidos em ruas arborizadas, independentemente da época do ano, concluindo que a cobertura arbórea leva a uma condição de melhor conforto térmico para os usuários. Em dias secos de verão na Cidade do México, Jauregui (1990) observou que o grande parque urbano de Chapultepec, com aproximadamente 500 ha, provocou um efeito de redução de 2-3°C na temperatura do ar, e esta influência foi detectada a uma distância de dois quilômetros do parque.

2.3. Temperatura Média Radiante

A T_{mrt} (temperatura média radiante) é certamente a variável mais complexa quando se fala em parâmetros necessários para os modelos usados para avaliar as condições térmicas adversas e o estresse térmico (Walikewitz et al., 2015).

A T_{mrt} é reconhecida como um fator fundamental que atua no conforto térmico humano em áreas abertas e em áreas fechadas (Landsberg, 1981). A T_{mrt} pode ser definida como a quantidade total de fluxos de ondas de radiação, sejam essas curtas ou longas, sob luz do dia, que o corpo humano é capaz de absorver, resultando no balanço de energia. E o balanço de energia é a soma de todas as fontes de calor. Se esse balanço for zero, pode-se dizer que o indivíduo está em perfeito equilíbrio sob o ponto de vista do conforto térmico humano (Wang e Akbari, 2014).

ASHRAE (2001) define a T_{mrt} como a “temperatura uniforme de um invólucro imaginário no qual a transferência de calor radiante do corpo humano é igual à transferência de calor radiante no invólucro não uniforme real”.

Além disso, segundo Shashua-Bar et al. (2010), a T_{mrt} pode ser definida de maneira simplificada como a temperatura média ponderada das superfícies que estão ao redor, e a da atmosfera e do sol. Os mesmos autores ainda explicam que, por este motivo, o cálculo de T_{mrt} é muito mais simples para ambientes fechados em relação aos espaços abertos, devido às características intrínsecas das últimas como, por exemplo, a exposição à radiação solar, diferentes formatos e posição dos edifícios e demais obstáculos, como as árvores.

A determinação da T_{mrt} é um problema no campo da bioclimatologia e existem diferentes métodos para calculá-la (Kántor e Unger, 2011). O mais preciso, no entanto, oneroso e muito complexo, trata-se de realizar medidas integrais de radiação e calcular os fatores angulares de reflexão, como mostrado no trabalho de Spagnolo e Dear (2003). Outro método mais simplificado que o anterior, consiste na utilização de leituras de um termômetro de globo que fica exposto à radiação. O seu formato esférico permite aferir a radiação que se origina de ondas curtas ou longas em todas as direções possíveis, como exemplificado no trabalho de Thorsson et al. (2007).

Entre as variáveis que constroem o conforto térmico, a T_{mrt} é o que causa a maior diferença entre as condições ao ar livre e em ambientes construídos fechados, isso ocorre porque o corpo humano atua como um receptor de toda a radiação. Em áreas quentes e úmidas, a T_{mrt} é certamente o segundo fator ambiental que mais influenciará na sensação térmica após a temperatura do ar (Shashua-Bar et al., 2010).

Em campo, a avaliação espacial da T_{mrt} é muito dificultada. Como a análise da T_{mrt} depende de princípios de transferência do calor das superfícies, requer um relativo longo período de tempo para examinar um determinado ponto (Rakha et al., 2017), e que acaba por inviabilizar registros rápidos ponto-a-ponto.

Uma alternativa comumente usada e aceita é a utilização de modelos que simulam a T_{mrt} pela entrada de uma série de informações climatológicas, geográficas e espaciais de uma determinada localidade. O *software* Rayman (Matzarakis et al., 2006; Matzarakis, 2009) é um exemplo de modelo disponível para simular a T_{mrt} . Alguns autores validaram a utilização do modelo *Rayman* para estimar a T_{mrt} , incluindo o trabalho de Thorsson et al. (2007) que, ao compará-lo a outros métodos, verificou que o modelo *Rayman* é especialmente preciso em

horários próximos ao meio dia, com tendência para subestimar a Tmrt nas primeiras e nas últimas horas de luz solar.

Outro modelo que está disponível para o usuário final é *Solweig*. Esse *software* estima a Tmrt modelando as ondas curtas e longas de radiação em seis diferentes direções e ângulos. Esse modelo já foi testado em diversas condições climáticas e sempre apresentou uma alta correlação entre os valores reais e os simulados (Lindberg et al., 2008); o modelo já foi utilizado em diversos locais de estudo na climatologia urbana, podendo-se citar os estudos de Chen et al. (2016) em Shanghai, Takacs et al. (2015) em Szeged, Thom et al. (2016) em Adelaide, Yi et al. (2017) em Nova Iorque e Aminipouri et al. (2019) em Vancouver.

Sabe-se que a temperatura do ar e a Tmrt são afetadas diretamente por obstruções no horizonte, como equipamentos, edifícios e vegetação (Wang e Akbari, 2014). Assim, cria-se a possibilidade de estimar a Tmrt por meio de fotografias digitais (Matzarakis et al., 2006).

Essa metodologia indireta para estimar a Tmrt não calcula com extrema precisão os níveis de conforto térmico, mas permite a comparação de áreas espacialmente heterogêneas com grande velocidade. A necessidade de uma grande quantidade de pontos amostrados em um curto espaço de tempo para explicar a Tmrt espacialmente tornam os modelos de simulação convenientes para tal finalidade.

A importância da Tmrt é evidenciada quando observados os modelos e índices existentes para o cálculo de importantes índices de percepção térmica como o UTCI (*Universal Thermal Climate Index*) (ISO, 2001), o PMV (*Predicted Mean Vote*) (Fanger, 1970) o PET (*Physiologically Equivalent Temperature*) (Matzarakis et al., 1999), e o PT (*Perceived Temperature*) (Staiger et al., 2011) que nela se baseiam.

2.4. *Sky View Factor* (SVF)

A distribuição entre a porção obstruída da visão céu e a parte livre de visão livre é utilizada para estimar a quantidade de radiação que chega em um ponto qualquer do solo da área em questão, utilizando-se uma razão de *Sky View Factor* (SVF), em uma livre tradução “razão de visão do céu”. Esses atributos são

estimados utilizando um mapa de pixels para construção de uma razão matemática; esses mapas podem ser introduzidos como uma figura vetorizada ou utilizando-se uma fotografia do tipo *fisheye* (Matzarakis et al., 2009)

O *Sky View Factor* é uma razão geométrica que expressa a fração da radiação que sai de uma superfície e é interceptada por outra. É um número adimensional que varia entre um (1) e zero (0), sendo 1 correspondente à passagem completa da radiação sem nenhum tipo de interceptação no horizonte, e 0 para o horizonte completamente obstruído, como é explicado por Oke (1988), e mostrado na Figura 1 de White e Kimm (2005).

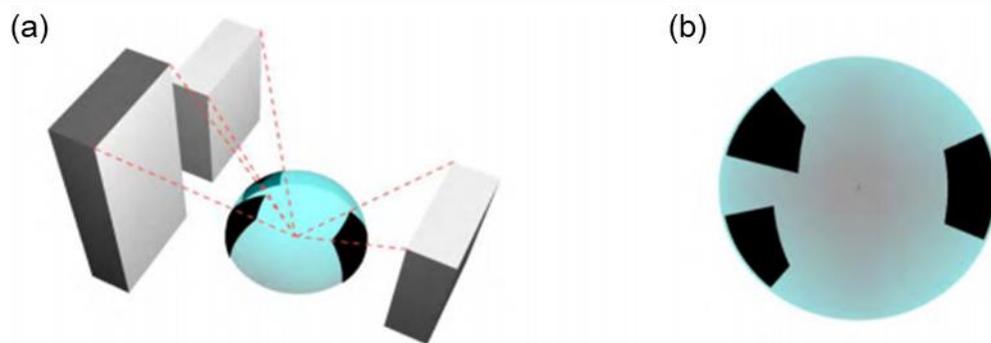


Figura 1. Representação gráfica de objetos que interceptam a visão do céu de um ponto simples; (a) visão tridimensional do ambiente e os bloqueios na visão do céu; (b) visão do céu no ponto do observador. Fonte: White e Kimm (2015).

Existem diversas metodologias para calcular ou estimar o SVF. Unger (2009) fez um levantamento destes métodos, como disposto na Tabela 1.

Tabela 1. Metodologias utilizadas para calcular ou estimar índices SVF

Metodologia	Autores
Modelo de escala	(Oke, 1981)
Método analítico (medição de ângulos), estimativa por gráficos.	(Bottyán e Unger, 2003; Johnson e Watson, 1984; Watson e Johnson, 1987).
Avaliação manual e computadorizada de fotografias do tipo “ <i>fisheye</i> ”.	Blankenstein e Kuttler., 2004; Bradley et al., 2001; Brown et al., 2001; Chapman et al., 2001; Grimmond et al., 2001; Holmer, 1992; Holmer et al., 2001; Steyn, 1980.
Avaliação de sinais de GPS.	Chapman e Thornes, 2004; Chapman et al., 2001.
Avaliação computadorizada de um banco de dados 3D, que descrevem os elementos geométricos da superfície.	Brown et al., 2001; Lindberg, 2005; Souza et al., 2003.

Fonte: Unger (2009).

Lin et al. (2012) utilizaram índices de SVF para estabelecer uma correlação entre o número de ocupação dos visitantes em diferentes áreas de um parque na cidade de Huwai, Taiwan, e os seus níveis de sombreamento e características microclimáticas. Os autores descobriram que nos dias de maior intensidade de calor, a utilização do parque era maior nas áreas de maior sombreamento, consistindo em uma boa referência para o *design* de parques em regiões quentes e úmidas, segundo os autores.

Matzarakis e Rutz (2005) utilizaram índices SVF construídos inteiramente no *software Rayman* para encontrar padrões climáticos de uso relevante no setor turístico e de hospedagem que podem ser utilizados para garantir que a construção de estruturas seja corretamente dimensionada, e demonstrando a diversidade dentro da climatologia em que a razão de bloqueio do céu/horizonte pode ser útil.

2.5. Índices de conforto térmico

No último século cerca de uma centena de índices foi criada para explicar a sensação térmica, podendo ser baseados em aferições ou em percepções fisiológicas do corpo humano ao ser exposto a determinada condição de estresse térmico (Blazejczyk et al., 2011).

Há um grande número de pesquisas que têm como objetivo analisar o conforto térmico em espaços abertos, visando a adequação do planejamento das cidades. Sabe-se que, independentemente do tipo de pesquisa e metodologia que estão sendo aplicadas, a utilização da avaliação da sensação e a compreensão do conforto térmico nesses espaços podem ajudar na aplicabilidade de ações que visam à melhoria da qualidade de vida da população de tal maneira, que pode modificar de forma positiva o comportamento das pessoas (Rossi, 2012).

Embora existam diversos índices, basicamente todos partem do mesmo princípio. Segundo Fischereit e Schlünzen (2018), normalmente os índices de conforto térmico buscam calcular a quantidade de calor que é trocada por quatro variáveis ambientais: temperatura do ar, umidade, radiação de ondas curtas e longas, essas duas últimas somadas formam a T_{mrt} . Os mesmos autores ainda mencionam que os fatores humanos, embora existam índices que não permitam esse tipo de *input*, correspondem à atividade realizada e ao tipo de vestimenta usada.

2.5.1. *Universal Thermal Climate Index* - UTCI

Desenvolvido pela *Comissão 6* da Sociedade Internacional de Biometeorologia (ISB – *International Society of Biometeorology*), o UTCI permite avaliar as condições térmicas do ambiente externo por meio das respostas fisiológicas do corpo, sendo assim, um índice fisiologicamente calibrado, aplicável a todos os tipos de clima, e independente das características individuais da pessoa (ISB 2001).

O principal objetivo por trás do desenvolvimento desse índice foi de tornar disponível um modelo fisiológico do ambiente externo para promover sua utilização em ações relacionadas à saúde e ao bem-estar, assim como permitir sua aplicação nos sistemas públicos de saúde em pesquisas relacionadas ao impacto do clima

sobre as pessoas, e fornecer uma ferramenta para o planejamento urbano (ISB 2001).

Os requisitos climáticos para o cálculo do UTCI explicar corretamente a sensação térmica abrange as faixas climáticas, a saber: temperatura do ar entre 50°C negativos e 50°C; Trmt 30°C e 70°C, velocidade de vento entre 0,5 e 30,3 m s⁻¹ e umidade relativa do ar na faixa de 5% a 100% (Bröde et al., 2009). A descrição do efeito fisiológico das faixas do índice UTCI está na Tabela 2.

Tabela 2. Faixas do (UTCI) e seu respectivo efeito fisiológico ou estresse sobre o corpo humano.

Faixa UTCI (°C)	Categoria do efeito fisiológico
Acima de +46	Estresse térmico por calor extremo
+38 até +46	Estresse térmico por calor muito forte
+32 até +38	Estresse térmico por calor forte
+26 até +32	Estresse térmico por calor moderado
+9 até +26	Sem estresse térmico
+9 até 0	Estresse térmico por frio leve
0 até -13	Estresse térmico por frio moderado
-13 até -27	Estresse térmico por frio forte
-27 até -40	Estresse térmico por frio muito forte
Abaixo de -40	Estresse térmico por frio extremo

Fonte: Bröde et al. (2009).

Rossi et al. (2012), estudando a utilização do índice UTCI, no período de janeiro a agosto de 2009 em Curitiba, conseguiram comprovar a eficácia do índice UTCI na predição de graus de conforto e desconforto térmico, dessa forma, evidenciando que não há necessidade da calibração do índice UTCI para a sua utilização em locais tropicais e subtropicais. Os mesmos autores estabeleceram, por meio de grupos de pessoas, que no local estudado, o “desconforto para o frio” está em temperaturas menores do que 15°C, o “conforto” entre 15°C e 24°C e o desconforto para o calor em temperaturas superiores a 24°C.

O UTCI foi escolhido para a presente pesquisa devido a uma série de estudos recentes que utilizam esse modelo para prever respostas fisiológicas,

sendo o modelo mais amplamente utilizado atualmente. Segundo Blazejczyk et al. (2011) o UTCI correlaciona-se de maneira bastante sensível aos estímulos ambientais de temperatura, radiação solar, umidade e velocidade, variando e representado a resposta do corpo humano a essas mudanças.

2.5.2. Predicted Mean Vote - PMV

O índice PMV é definido pelo seu criador, como o valor que representa o voto médio da sensação térmica de um grupo grande de pessoas, em uma escala padronizada, de um grupo grande de pessoas para qualquer combinação das variáveis que constroem a sensação térmica, níveis de vestimenta e tipo e intensidade de atividade (Fanger, 1970). No índice PMV o conforto térmico propriamente dito é atingido quando a maioria de um grupo não apresenta desconforto térmico. Normalmente a escala de variação do índice PMV varia entre -3 (extremo estresse por frio) e +3 (extremo estresse por calor) enquanto 0 representa o estado neutro, ou seja, o estado de conforto térmico propriamente dito. Em algumas situações o PMV pode apresentar valores além da escala (Fonte: Envi-met, sem data).

Na Figura 2 é disposto um gráfico com a escala PMV.

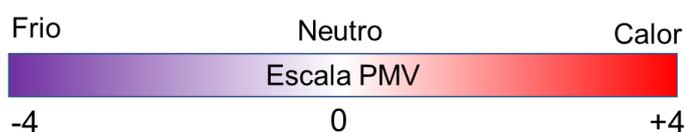


Figura 2. Escala do *Predicted Mean Vote*, PMV. (Fonte: Envi-met, sem data)

Na equação 1 é descrito o modelo PMV (Fanger, 1970), que é utilizado para situações ao ar livre, assim como para o interior de construções (Gobo, 2013).

$$PMV = (0,303^{-2,100 \cdot M} + 0,028) \cdot ([M - W] - H - Ec - Cres - Eres) \quad (1)$$

Na qual:

M = Razão metabólica (W/m^2)

W = Capacidade mecânica efetiva (W/m^2);

H = Perda de calor;

E_c = Trocas de calor com o ambiente da pele por evaporação;

C_{res} = Trocas de calor por respiração;

E_{res} = Trocas de calor ao respirar por evaporação.

Segundo Silva (2014), os termos que compõem a equação 1, com exceção da razão metabólica e da capacidade mecânica efetiva, correspondem às trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente que o rodeia. Esses termos são calculados com base em uma série de equações que utilizam como base entradas psicométricas como a temperatura do ar, pressão de vapor (obtida normalmente pela UR%), e T_{mrt} .

2.6. Fenômenos espaciais e geoestatística.

Dados que estão dispostos de maneira contínua no espaço têm um papel fundamental no controle de riscos, no planejamento e na tomada de decisão sobre o manejo do meio ambiente. Esses dados, que normalmente são obtidos ponto-a-ponto, precisam estar espacialmente correlacionados para que uma inferência espacial seja realizada a fim de possibilitar decisões confiáveis (Li e Andrew, 2008).

Enquanto análises em série de tempo ajudam a dizer “quando” ou “em qual intensidade” (Hamilton, 1994), as análises espaciais mostram “onde” ou “qual é o padrão da variabilidade” (Harder e Brown, 2017).

Existem diferentes métodos de analisar um dado espacialmente, porém, derivam de um princípio comum: é um processo no qual geograficamente, ou seja, espacialmente, um problema (ou qualquer fenômeno) é modelado, analisado e estudado. As análises espaciais mostram-se especialmente úteis em diversas áreas de estudo, pois este tipo de abordagem permite fazer, em uma única análise, diversos tipos de inferência, tais como: determinar locais mais aptos para fins específicos; fazer uma estimativa com dados já existentes ou não (simulações); interpretar e compreender mudanças no espaço, e ainda o aparecimento de

padrões que antes eram ocultos quando os dados não eram espacialmente estudados (Harder e Brown, 2017).

Analisar um fenômeno espacialmente significa correlacionar dados descritivos (tabelas, gráficos, etc.) e mapas para obter as respostas, pois em conjunto oferecem suporte para melhor compreender o fenômeno em estudo, fornecendo melhor subsídio para as interpretações. Sendo assim, pode-se dizer que as análises espaciais são um processo de exploração, visualização e interpretação de dados e mapas (Harder e Brown, 2017).

Neste sentido, pode-se dizer que o maior objetivo das análises espaciais é de entender a tendência, ou o quão forte é a continuidade espacial de uma determinada variável; ou seja, valores mais altos tendem a permanecer próximos uns dos outros, se houver alguma continuidade espacial nos dados da variável analisada. Essa continuidade espacial dos pontos anotados por alguma coordenada geográfica métrica pode originar-se de diversos padrões que causam as mudanças no espaço, tais como: interação, trocas, transferências, divisão e dispersão. Ainda essa variação pode ter origem devido às variáveis ocultas que alteram a variável estudada, ou simplesmente por erro no momento de obtenção dos dados (Páez e Scott, 2004).

É comum os profissionais concentrarem a análise de dados em uma análise estatística descritiva, e assumirem generalidades de uma população com base em amostras da mesma. Assim sendo, é possível que ocorra, quando realizada uma abordagem espacial, a revelação de um comportamento da variável que antes era oculto (Jones, 2014).

Um exemplo do que foi dito anteriormente está na Tabela 3: Barnes (2003) elaborou dois conjuntos de dados de uma variável hipotética A e B, embora os dados apresentem diferenças insignificativas sendo praticamente idênticos à Figura 3, revela um comportamento espacial dos dados muito diferentes.

Tabela 3. Dados descritivos hipotéticos de dois conjuntos de dados

Dados	n	Média	DP ¹	P10 ²	P90 ³
A	15251	100	20	73,89	125,61
B	15251	100	20	79,95	124,73

¹Desvio Padrão; ²Percentil 10; ³Percentil 90; Fonte: Barnes (2003).

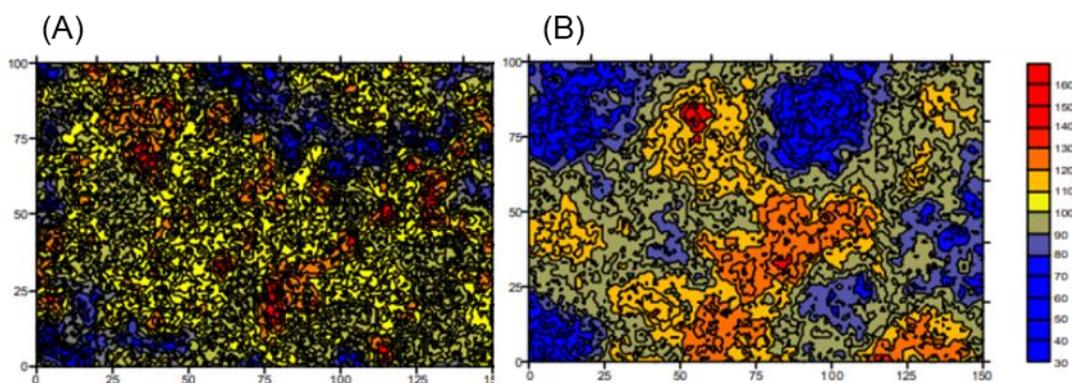


Figura 3. Variabilidade espacial hipotética dos dados da Tabela 3. Fonte: Barnes (2003).

Assim podemos dizer que os dados apresentados, embora apresentem a mesma variabilidade, possuem diferentes padrões de continuidade espacial: enquanto os dados de A se modificam mais rapidamente no espaço, os dados de B são mais homogêneos.

O ambiente se estende continuamente, mais ou menos (intensidade de variação), em duas dimensões. As propriedades do meio surgem como resultado das ações e interações de muitos processos e de fatores diferentes. Cada um desses processos pode operar de forma multiescalar, simultaneamente. Assim, ambiente é o resultado destes processos, que variam no espaço com grande complexidade e muitas escalas espaciais que contemplam desde micrômetros até centenas de quilômetros (Webster e Oliver, 2001).

Mudanças abruptas no ambiente são perceptíveis e bastante óbvias, especialmente quando se tem a oportunidade de observá-las em fotografias aéreas ou imagens de satélite. Outras mudanças no ambiente são mais sutis, e propriedades como temperatura e umidade do ar raramente podem ser vistas, de tal modo que é imprescindível ter representatividade e confiabilidade na medição e na qualidade das amostras (Webster e Oliver, 2001).

Além das características do ambiente, anteriormente mencionadas, os valores das propriedades do ambiente registrados nos diferentes pontos de amostragem devem ser espacialmente auto-correlacionados. A geoestatística parte do princípio de que localidades que são próximas umas das outras possuem tendência de ter registros semelhantes de algumas variáveis do ambiente, de forma que pontos mais distantes são, em média, mais diferentes. Intuitivamente, isso é

perceptível e a geoestatística expressa essa intuição em quantidade. Existe inevitável erro nas estimativas geoestatísticas, mas ao quantificar a autocorrelação espacial é possível controlar o erro dentro da escala de interesse para o estudo (Webster e Oliver, 2001).

Alguns autores definiram geoestatística: Deutsch (2002) como o estudo de um fenômeno que varia espacialmente. Já Isaaks e Srivastava (1990) referem-se à geoestatística como uma maneira de descrever a continuidade espacial de um fenômeno, utilizando adaptações de técnicas de regressão para extrair os resultados dessa continuidade, que então é utilizada para interpretações importantes de um determinado fenômeno.

A geoestatística é um tipo de estatística espacial que por sua vez está inserida na grande área de análises espaciais (Ribeiro e Martins, 2004).

A geoestatística pode ser utilizada em diversos ramos das ciências ambientais, quando o objetivo é avaliar a variação de um fenômeno espacial por pontos de controle, por exemplo: Garcia et al. (2016) utilizaram a estatística espacial para estudar a poluição sonora em Algesemí, na Espanha; Cattle et al. (2002), para avaliar a contaminação do solo por chumbo em uma zona urbana de subúrbios de Sidney. Flores et al. (2011) na reconstituição de áreas que foram afetadas por incêndios florestais em Chihuahua. Assim, a análise de dados espaciais consiste em uma ferramenta bastante útil no âmbito das ciências ambientais, resultando em produtos importantes que podem ser utilizados para diversos fins, a depender do ramo de aplicação.

No estudo da dependência espacial, um termo muito comum é o variograma que, às vezes, também, é chamado de semivariograma (Bachmaier e Backes, 2008).

A semivariância da observação entre dois pontos é um importante conceito da geoestatística e é definida como (Webster e Oliver, 2001).

$$\gamma(x_i, x_0) = \gamma(h) = \frac{1}{2} \text{var} [Z(x_i) - Z(x_0)] \quad (2)$$

Na qual: h = distância entre x_i e x_0

$\gamma(h)$ = semivariograma.

A análise variográfica consiste no cálculo de um variograma experimental que é calculado a partir dos dados observados e do modelo matemático que melhor se ajusta a esses dados, e que é plotado num gráfico de duas dimensões (Barnes, 2003). Na Figura 4 são dispostos alguns modelos teóricos de variogramas (Aspexit, 2019).

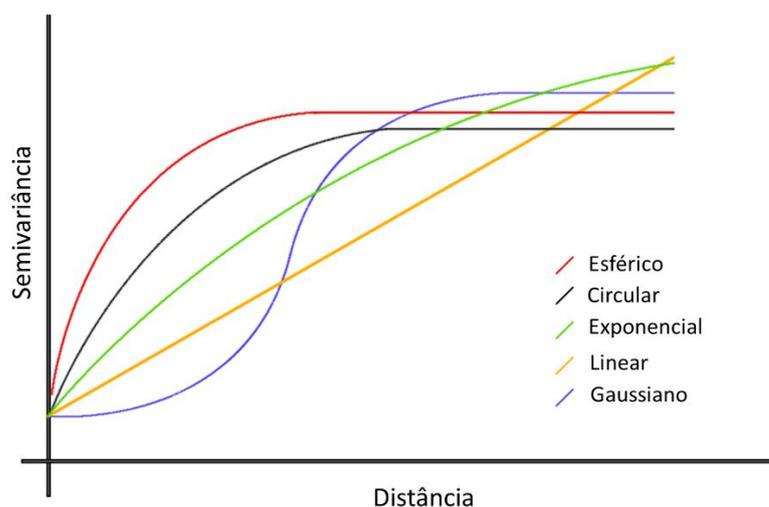


Figura 4. Modelos empíricos de variogramas. Fonte: Aspexit (2019).

Um variograma normalmente apresenta os parâmetros indicados na Figura 5. Intuitivamente, quando se trata de dependência espacial, supõe-se que a diferença entre dois pontos observáveis aumente, à medida que a distância que os separa é aumentada, até o ponto em que o alcance (distância que se atinge o patamar) acaba e a dependência espacial é desconstruída (Camargo, 1998).

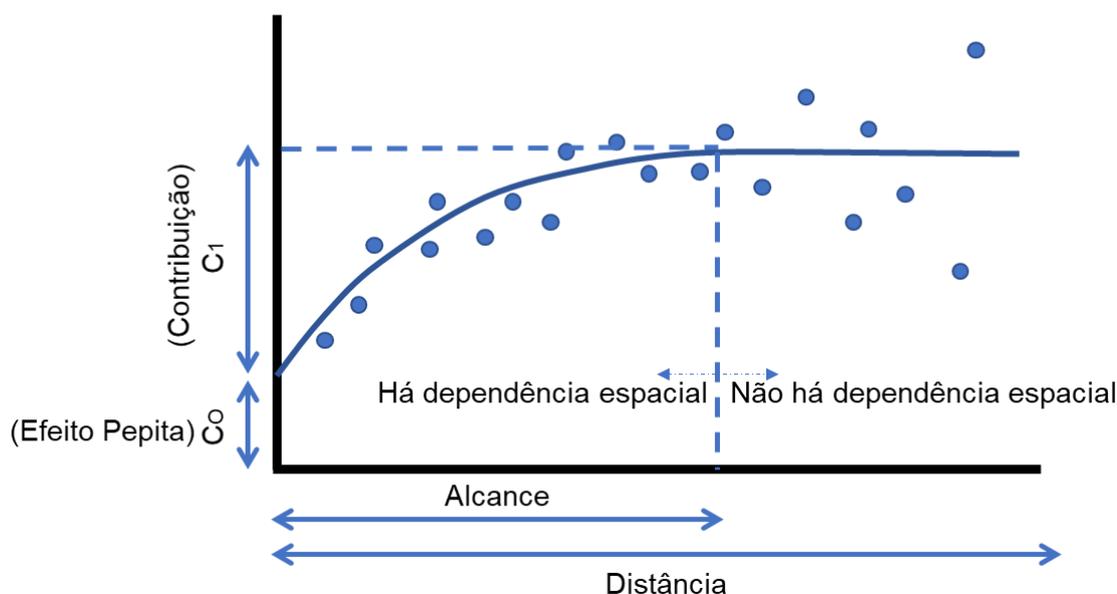


Figura 5. Componentes de um variograma. Fonte: Elaborado pelo autor. Adaptado de Camargo (1998).

Segundo Camargo (1998), o alcance consiste na distância na qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente. Patamar é como é chamado o valor máximo da contribuição ($C_0 + C_1$). O efeito pepita tem seu valor ideal quando é igual a zero, e indica que pode haver variância dentro de distâncias inferiores às menores distâncias entre amostras, reflete a escala, e diversos outros fatores. Sendo assim, a contribuição variográfica consiste no valor do patamar subtraído do efeito pepita.

Validar uma análise espacial não é tarefa simples, pois se os valores de Z que foram estimados fossem conhecidos, não havia necessidade de os estimar. Alguns tipos de fenômenos espaciais permitem que os valores de Z estimados sejam avaliados em campo, porém normalmente isso representa um grande esforço financeiro e de tempo (Shafer e Varljen, 1990)

Normalmente, o que é feito é a avaliação do modelo por método de validação cruzada (*cross-validation*) (Zhang e Wang 2010): o número n de valores z que foram observados (pode ser feito com o n total ou parte) é analisado por meio de erros que são calculados removendo a primeira observação (primeiro z) e, em seguida, utilizando o restante dos dados para interpolar o valor do Z conhecido que foi removido, determinando então o erro desse valor de Z . Como mostrado na Equação 3.

erro=valor estimado-valor observado (3)

Em seguida o valor de Z observado que foi interpolado é recolocado no conjunto de dados e, então, o processo é repetido com o segundo valor de Z observado, e assim repetido com o terceiro, e assim por diante (Zhang e Wang 2010). Por fim, a qualidade da análise espacial é realizada por uma série de informações estatísticas dos erros utilizando o *output* da análise de validação cruzada.

A possibilidade de transformar as informações estatísticas do erro em índices normalizados facilita a comparação entre variáveis que possuem diferentes grandezas. Um índice normalizado que é frequentemente citado é o CPNS (coeficiente de performance Nash-Sutcliffe), que embora originalmente tenha sido desenvolvido para avaliar a performance de previsão de modelos hidrológicos, já fora utilizado nas mais variadas situações em que o objetivo era avaliar a performance de uma simulação, como por exemplo, no uso de energia elétrica em edifícios (Wong et al., 2010); evapotranspiração de culturas agrícolas (Abedinpour, 2016); variabilidade espacial de chuvas (Borges et al., 2015); comportamento do tráfego viário urbano (Buera e Bhuyan, 2017); modelos inteligência artificial na previsão do tempo (Wang et al., 2009); estimativa do número de infectados e óbitos em uma pandemia (Młocek; Lew, 2020); e na variabilidade espacial da temperatura do mar (Bejranonda e Koch, 2010).

Na equação 4 é mostrado o cálculo do CPNS (Nash e Sutcliffe, 1970).

$$\text{CPNS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (E_m - E_s)^2}{\sum_{i=1}^n (E_m - \bar{E}_s)^2} \quad (4)$$

Na qual:

CPNS = coeficiente de performance Nash-Sutcliffe;

E_m = Evento observado;

E_s = Evento simulado pelo modelo;

E_s (barra) = Média do evento observado.

A interpretação da performance que varia de $-\infty \leq CPNS \leq 1$, em que 1 representa um ajuste perfeito entre dados observados (Ritter e Muñoz-carpena, 2013), pode variar entre diferentes literaturas: Moriasi et al. (2007) considera CPNS $<0,50$ como insatisfatórios, e $>0,75$ como a melhor classificação de performance, enquanto Ritter e Muñoz-carpena (2013) determinaram que valores de CPNS inferiores que 0,65 são considerados insatisfatórios enquanto a máxima classificação de performance é obtida apenas quando CPNS $>0,90$.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida em espaços verdes urbanos na cidade de Campos dos Goytacazes que está localizada nas coordenadas 21° 45'S e 41° 20'W. Com classificação Köppen-Geiger (Köppen e Geiger, 1936) Aw, é assim caracterizado por um clima de cerrado tropical com as chuvas anuais concentradas no período do verão. No período de 2000 a 2019, o Banco de Dados para Ensino e Pesquisa (DBMEP), mantido e alimentado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), informam que o município teve precipitação anual média de 1003 mm; temperatura média anual de 24,48°C e temperatura média máxima de 30,06°C. Nos meses de verão de 2019 e 2020, que compreende o período em que os registros para esta pesquisa foram obtidos, a mesma plataforma de dados registrou temperatura média máxima de 32,61°C.

A pesquisa está seccionada em Parte I – “Variabilidade espacial de índices *Sky View Factor* e do conforto térmico na Praça do Santíssimo Salvador: cenários de simulação”; Parte II – “Comportamento em microescala do efeito de bordadura de um arvoredo: bases estáticas e variabilidade espacial de índices *Sky View Factor* e do conforto térmico” e Parte III – “Avaliação da continuidade espacial dos componentes da percepção térmica e da *Universal Temperature Climate Index* (UTCI) em áreas verdes de Campos dos Goytacazes, RJ” que, embora possuam a mesma base metodológica, exigem ser explanadas separadamente.

Na Tabela 4 estão descritos os *softwares* utilizados e os respectivos produtos ou funções utilizadas.

Tabela 4. *Softwares* utilizados e suas respectivas funções.

<i>Software</i>	Função
<i>Google Earth Pro</i>	Obtenção de imagens de satélite
<i>Google Street View</i>	Estimativa da altura dos edifícios
<i>Rayman Editor</i>	Construção dos modelos de simulação.
<i>Sky Helios</i>	Análise ponto-a-ponto dos índices de <i>Sky View Factor (SVF)</i> ; e obtenção dos modelos fotográficos (SVF orientação ao norte).
<i>Solweig 1D</i>	Cálculo da T_{mrt} ³
<i>Rayman Pro</i>	Cálculo da UTCI ¹ e PMV ²
<i>Surfer 18</i>	Construção dos variogramas, análise geoestatística, <i>layout</i> final dos mapas de variabilidade,
Infostat	Estatística descritiva e testes estatísticos.
Microsoft Excel	Tabulação de dados em planilhas eletrônicas.

¹*Universal Climate Index*; ² *Predicted Mean Vote*; ³Temperatura média radiante

Na Figura 6 é mostrado um diagrama simplificado com o fluxo de aquisição e processamento de dados geral do trabalho, contendo os *softwares* utilizados, variáveis e produtos dos processamentos. As Partes I, II ou III não necessariamente compartilham todos os processos do diagrama, e os detalhes serão descritos separadamente.

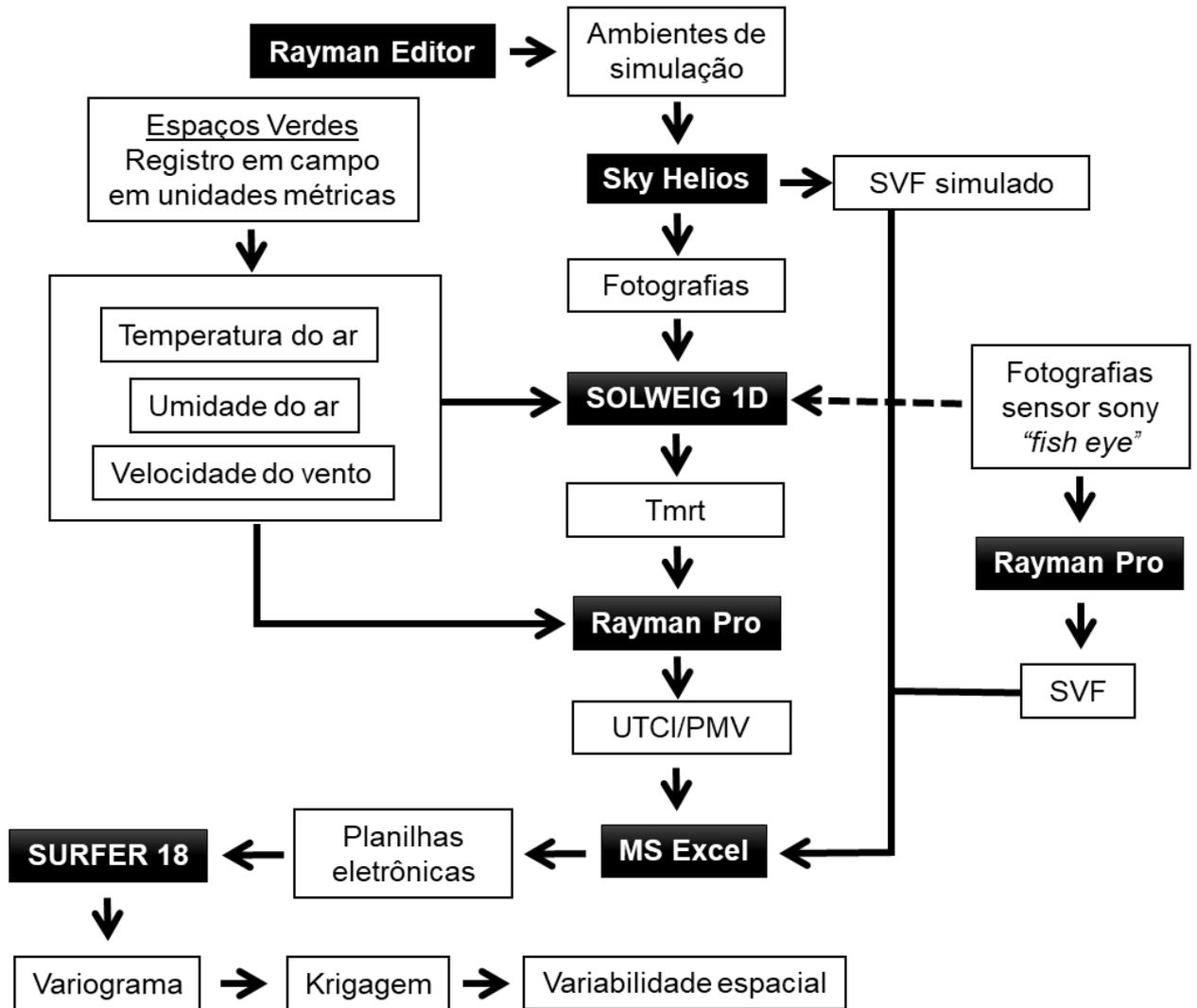


Figura 6. Diagrama simplificado dos passos e processos para a obtenção da variabilidade espacial. *Sky View Factor* (SVF); Temperatura média radiante (Tmrt); *Universal Climate Index* (UTCI); *Predicted Mean Vote* (PMV).

Notadamente, a Tmrt (temperatura média radiante) foi obtida por modelo de simulação em todas as partes, as quais compartilharam as mesmas características do ambiente urbano descritas na Tabela 5.

Tabela 5. Características do ambiente urbano para simulação da temperatura média radiante (T_{mrt}) (*Solweig 1D*)

Variável	Parâmetro
Albedo de superfícies	0,15
Albedo solo gramado	0,15
Albedo solo construído	0,20
Emissividade de superfícies	0,90
Emissividade do solo	0,95

3.1. Parte I – Variabilidade espacial de índices *Sky View Factor* e do conforto térmico na Praça do Santíssimo Salvador: cenários de simulação.

A “Parte I” foi conduzida na Praça do Santíssimo Salvador localizada no centro do município de Campos dos Goytacazes, na região norte do Estado do Rio de Janeiro. O local foi escolhido por apresentar uma marcante característica de homogeneidade ambiental. Além disso, uma mudança relativamente recente em sua configuração anterior à atual dispõe de amplos registros fotográficos, material que foi utilizado como referência da construção de cenários de simulação da vegetação. Ainda, a sua configuração atual, que pode ser considerada minimalista, com piso em granito e contando apenas com palmeiras de grande porte como vegetação de porte arbóreo, configura uma excelente oportunidade para o desenvolvimento em seu objeto que é mais criticado: a ausência de sombreamento culminando em altas temperaturas que, por vezes, inviabiliza o estar na Praça.

3.1.1. Caracterização da área de estudo.

Nesse trabalho, considerou-se como Praça do Santíssimo Salvador a própria Praça e a Praça das Quatro Jornadas, localizada imediatamente ao norte da Praça do Santíssimo Salvador, que juntas formam área de estudo de aproximadamente 0,5ha.

A Igreja do Santíssimo Salvador e a Praça que leva o nome da igreja, juntas correspondem à maior referência do Centro do Município de Campos dos Goytacazes (Faria e Júnior, 2017).

Desde a fundação da cidade, a Praça foi submetida a variadas intervenções urbanísticas, por exemplo: em 1841 a Praça sofria com lama; em 1869 foi realizada

uma obra de aterro e nivelamento do solo. Entre 1893 e 1913 foi realizada uma obra de aterro e nivelamento do solo, visando amenizar esse problema. Entre 1893 e 1913 a Praça foi equipada com gradis nos seus limites; neste período a Praça das Quatro Jornadas ganhou seu chafariz belga (Silveira, 2017).

Na linha do tempo da Praça, destacam-se as remodelações realizadas nos anos 40 e 90 e a mais recente remodelação, no ano de 2005, que trouxe uma configuração com ares mais modernos para a Praça (Figura 7). Mais recentemente, no ano de 2014 foi realizada a reforma no chafariz (Silveira, 2017).

Atualmente a Praça é cenário para festividades, feiras ao ar livre e bastante utilizada para a prática de *skate* devido à sua ampla área pavimentada de granito. A Praça também é encontro de vários grupos de jovens como, por exemplo, aos finais de semana é comum encontrar “batalhas” de *rap*.

Os arredores da Praça possuem pontos de interesse além da Igreja do Santíssimo Salvador, como o Museu da História de Campos. A Praça conta também com livre acesso à internet por meio de conexão Wi-Fi (CIDAC, 2015)



Figura 7. Configuração atual da Praça do Santíssimo Salvador, julho de 2019. Foto: o próprio autor.

3.1.2. Construção dos modelos de simulação

Para alcançar os objetivos propostos para essa parte, primeiramente foram construídos os cenários de simulação: foi utilizado o *Google Earth Pro* como base fotográfica orientada ao norte em escala conhecida para a construção dos objetos (edificações e árvores) no *software Rayman Editor*. Os cenários de simulação têm em comum o mesmo esquema de edificações, sendo modificada apenas a vegetação arbórea. Os modelos foram criados com base nas características apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6. Características dos cenários de simulação criados para a Praça do Santíssimo Salvador

Cenário	Característica básica*
Cenário 1	Configuração atual
Cenário 2	Configuração anterior à atual
Cenário 3	Adição de árvores da espécie hipotética 1
Cenário 4	Adição alternada das espécies hipotéticas 1 e 2
Cenário 5	Adição de árvores da espécie hipotética 2

*Nos cenários 3, 4 e 5, as palmeiras do cenário 1 também foram mantidas.

Enquanto a posição dos edifícios foi feita por meio do *Google Earth Pro*, uma estimativa da altura dos mesmos foi realizada com o *Google Street View*, utilizando-se para referência três metros de altura por pavimento construído.

No cenário de simulação 2 (CS2), a posição das árvores foi obtida utilizando-se o *Google Earth Pro* (registro aerofotográfico de 28/08/2004) (Figura 8a), mas a altura e espécie de cada indivíduo arbóreo foi estimada por meio de registros fotográficos disponíveis na internet (Figura 8b).



Figura 8. (a) Imagem de satélite utilizada pela referência das posições das árvores no cenário de simulação de 2 (configuração da Praça Santíssimo Salvador anterior a atual) obtida no *Google Earth Pro*; (b) Exemplo de fotografia buscada em máquina de busca para obter as referências de altura e espécies no cenário de simulação 2 (CS2)- Autor Desconhecido.

Os modelos 3, 4, e 5 foram criados com a manutenção das palmeiras atuais, e a adição de duas espécies de árvores hipotéticas com dendrometria compatível com o local. Essas árvores na simulação foram adicionadas em espaço entre as linhas de palmeiras na porção sul da Praça, a porção norte de cada modelo foi preservada ao máximo com objetivo de não interferir no monumento presente neste setor. A dendrometria que foi utilizada como base está disposta na Tabela 7, e na Figura 9 é disposto um exemplo de uma das entradas dendrométricas que deve ser feita indivíduo por indivíduo até que todas as árvores estejam modeladas.

Na Figura 10 são observados os diferentes cenários de arborização urbana construídos no *software Ray Man Editor*.

Tabela 7. Bases dendrométricas para os cenários 3, 4 e 5.

Espécies	Altura total (m)	1º Bifurcação (m)	DAP ¹ (m)	Diâmetro da Copa (m)
Espécie 1	10	2,2	0,15	5
Espécie 2	10	2,2	0,40	8

¹Diâmetro na altura do peito.

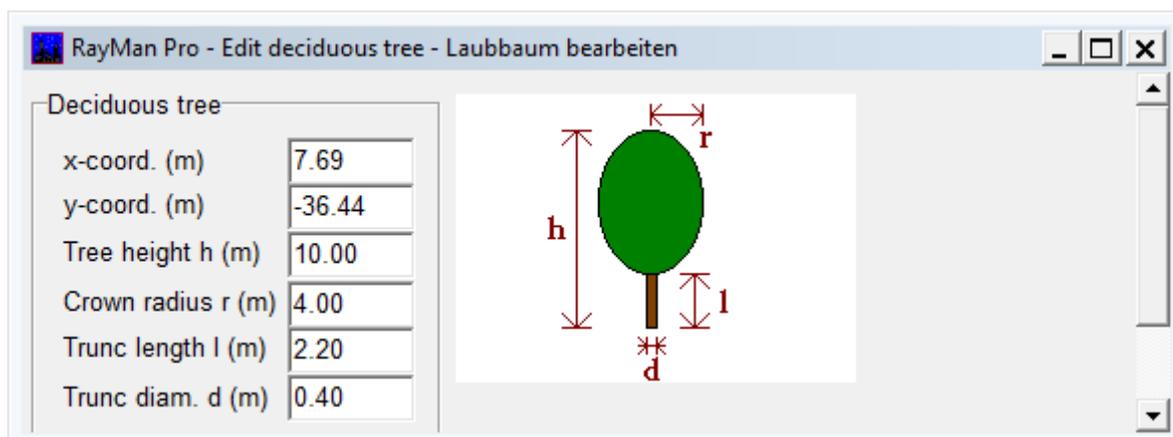


Figura 9. Exemplo de entrada dos dados dendrométricos de modelagem individual no *Rayman editor*. h = altura total; r = raio; i = primeira bifurcação; d = diâmetro do tronco.

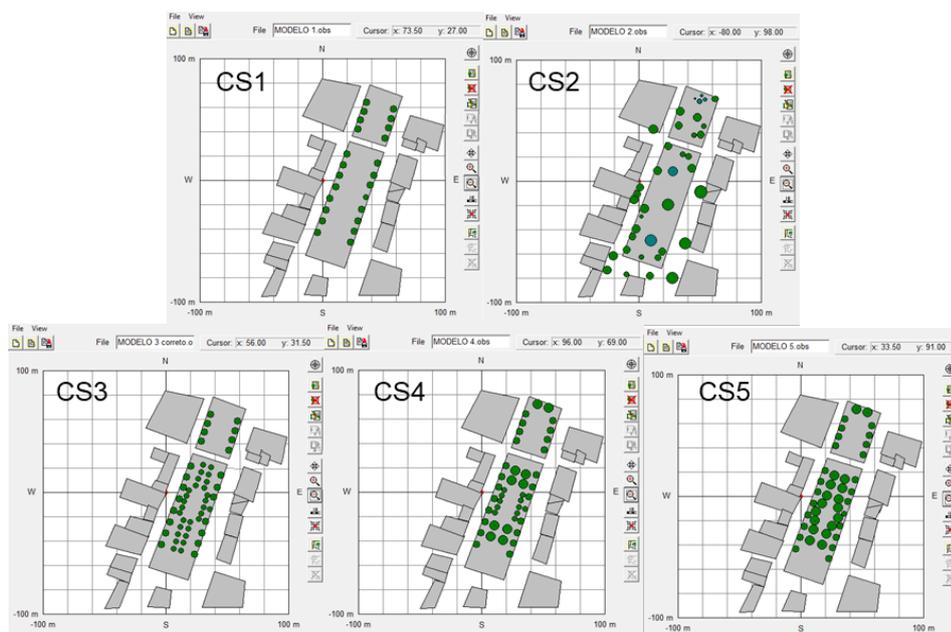


Figura 10. Cenários de simulação desenvolvidos para a Praça do Santíssimo Salvador: CS = Cenário de simulação; CS1 = Cenário da configuração atual; CS2 = Cenário de simulação configuração anterior à atual; CS3 = Adição de árvores da espécie hipotética 1 CS4 = Adição alternada das espécies hipotéticas 1 e 2 hipotética 1 e 2; CS5 = Adição de árvores da espécie hipotética 2.

3.1.3. Análises espaciais de índices *Sky View Factor* (SVF)

Para análise espacial dos índices *Sky View Factor* (SVF), os modelos foram submetidos ao processamento 3D pelo *software Sky Helios*. O processamento dos dados se deu em duas diferentes densidades de amostragem. O primeiro

considerou 52 pontos aleatórios (pontos que coincidem com a coleta de dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar e de velocidade do vento) sendo informados ao *software* manualmente ponto a ponto, para obtenção de uma amostragem que simula uma obtenção por método fotográfico. O segundo processamento consistiu em um processamento automatizado em malha padronizada de 1m x 1m. As respectivas malhas que enfatizam a diferença de amostragem são mostradas na Figura 11.

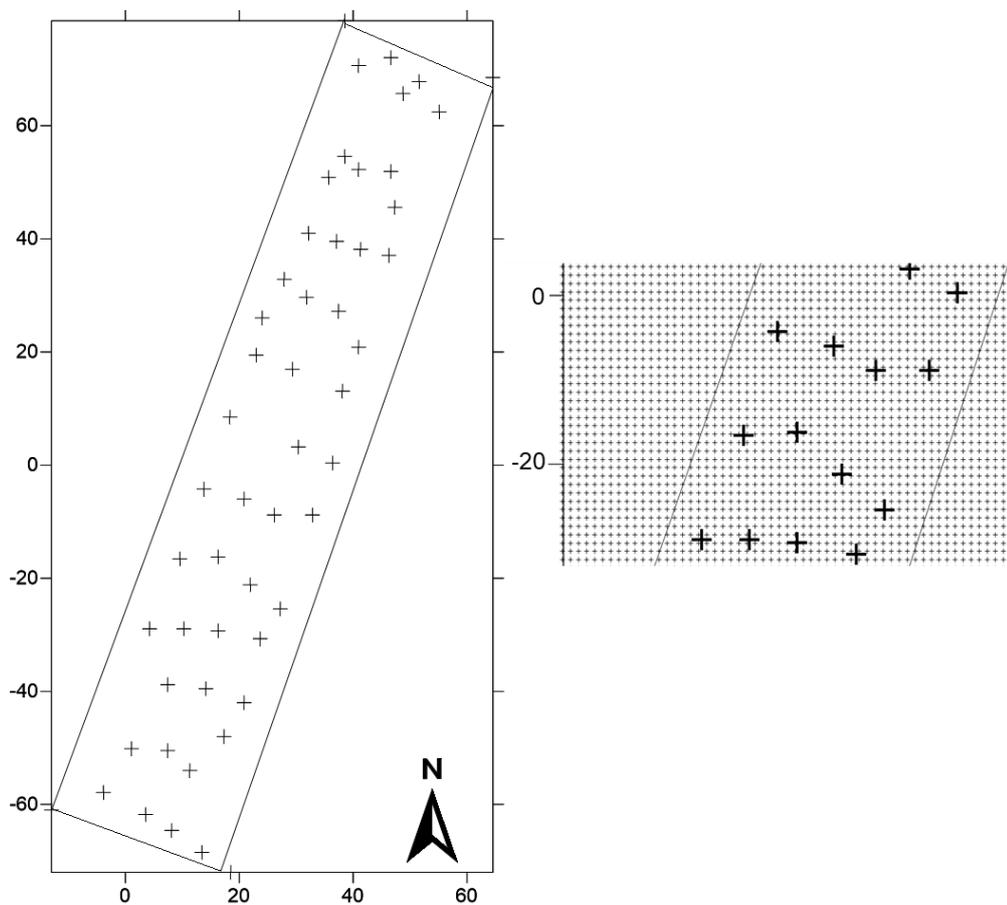


Figura 11. Malhas de amostragem: à esquerda malha aleatória mostrando os 52 pontos avaliados (+); à direita, comparação em *zoom* entre os 52 pontos da malha aleatória (+) e os pontos da amostragem em malha de 1m x1m (·), totalizando 26 mil pontos.

Ao final do processamento de dados pelo *Sky Helios*, um valor de SVF foi obtido para cada uma das coordenadas analisadas, num total de 52 SVF para o primeiro processamento e 26 mil SVF para o segundo processamento. A diferença se dá não apenas pela densidade de amostragem (Figura 11), mas também, porque

no primeiro processamento todos os pontos estão no interior da Praça (embora exista efeito do exterior), enquanto o segundo considera todas as coordenadas do cenário de simulação, inclusive aquelas dos pontos que não influenciam o SVF da Praça.

As análises espaciais foram todas processadas pelo *software Surfer 18* (edição acadêmica): as duas densidades de índices SVF foram submetidas à análise geoestatística e tiveram a dependência espacial dos pontos modelados por variogramas, e foram processados por krigagem ordinária. Além dos mapas para as duas diferentes malhas foi traçado um perfil do nível de SVF ao longo da Praça, para auxiliar na comparação entre as duas densidades de amostragem, na parte central, no sentido sul em direção ao norte (Figura 12).

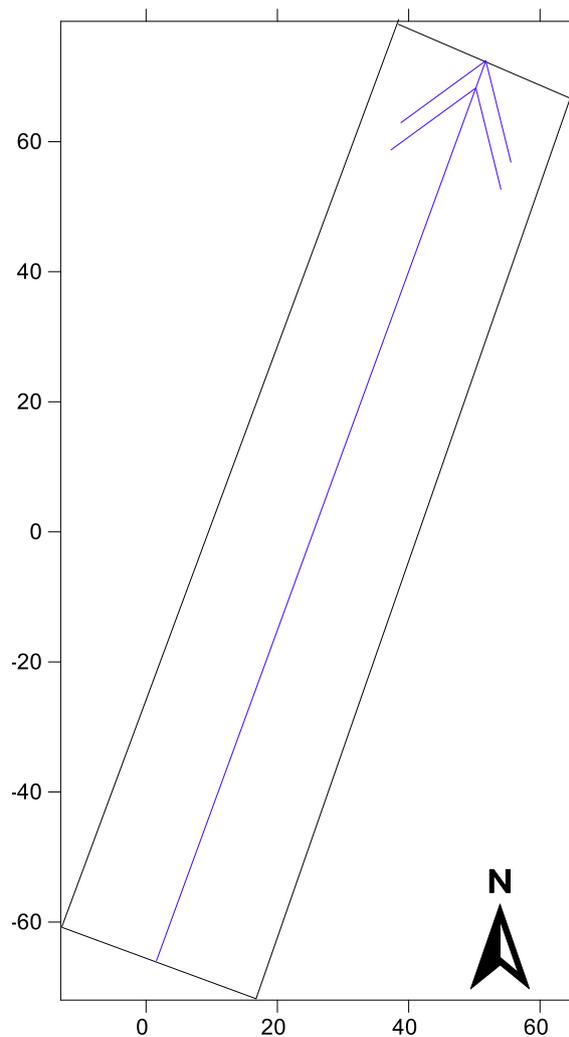


Figura 12. Posição e direção de obtenção dos perfis de elevação dos dados na Praça do Santíssimo Salvador.

Aos dados foram aplicados testes utilizando o modelo de variograma linear, esférico e gaussiano, com a utilização da ferramenta *autofit* e, quando necessário, foi realizado um ajuste do modelo manualmente; então procedeu-se a escolha do modelo de variograma que apresentou o menor erro médio na análise de validação cruzada.

A qualidade das análises espaciais foi realizada por validação cruzada do tipo *um-de-fora*, utilizando-se 52 pontos para o método de simulação fotográfica, e 200 pontos aleatórios para a simulação 1m x1m. A partir do resultado da validação cruzada, calculou-se o coeficiente de performance Nash-Sutcliffe do modelo (Nash e Sutcliffe, 1970) e foi feita a classificação da performance como sugerido por Ritter e Muñoz-carpena (2013).

3.1.4. Análises espaciais do conforto térmico

A coleta de dados foi realizada no verão de 2019, em 25 de fevereiro (quinquagésimo sexto dia do ano) às 13h, em que se procedeu com o registro espacial da UR% (umidade relativa do ar), temperatura do ar (TA) e a velocidade do vento em típico do verão norte fluminense. Embora exposto por pouco tempo, pois, trata-se de uma análise “instantânea” foi utilizado um aparato de PVC para proteger os sensores.

As variáveis microclimáticas foram relacionadas a 52 pontos e georreferenciadas em unidades métricas (UTM) que, posteriormente, foram convertidos em unidade métricas simples, por sobreposição, para a utilização do *Rayman Editor*. O software *Rayman Editor* foi utilizado para a construção dos cenários de simulação e o software *Solweig 1D* para simulação da temperatura média radiante (utilizando a entrada dos dados analisados pelo software *Sky Helios*), então, com a informação necessária procedeu-se o cálculo da sensação térmica UTCI e PMV com o *Rayman Pro*, como mostrado na Figura 6.

Para fins de cálculo, os dados de TA, UR% e velocidade do vento foram mantidos em todos os modelos, sendo que para este último uma média aritmética simples entre os pontos de amostragem foi feita (mínimo de 2,0 m/s). Sendo assim, os elementos do conforto térmico modificados para o cálculo foram os índices SVF

dos cenários de simulação (varia de 1 a 0, sendo 1 para a visão do céu sem bloqueios, e 0 para o bloqueio total do céu/horizonte) e a T_{mrt} que é simulada a partir da simulação fotográfica; e ambos variam em cada cenário.

As análises espaciais do conforto térmico foram realizadas assim como para os índices SVF, a validação cruzada foi procedida utilizando 52 pontos para cada uma das análises (Figura 11, lado esquerdo), assim como explanado no item 3.1.2.

3.1.5. Estatística descritiva e testes

As análises de estatística descritiva e os testes foram realizados utilizando-se o *software Infostat*. Os pontos de SVF, UTCI e PMV que compõem a malha aleatória foram comparados por Teste t-*Student* pareado, por se tratarem de 52 pontos na mesma posição em todos os modelos que foram submetidos aos tratamentos, que no caso trata-se da adição das árvores pelos cenários de simulação (CS 1, CS 2, CS 3, CS 4 e CS 5) (Figura 11).

Os resultados obtidos nos modelos criados foram submetidos às análises de regressão: T_{mrt} x SVF; UTCI x SVF e PMV x SVF ao nível de 5%.

3.2. Parte II – Comportamento em microescala do efeito de bordadura de um arvoredo: bases estáticas e variabilidade espacial de índices *Sky View Factor* e do conforto térmico.

A pesquisa correspondente à Parte II exigiu uma área arborizada adjacente a uma área aberta (área de transição), à qual segue uma área de gramado. Como área arborizada, foi escolhido um arvoredo de *Erythrina velutina* no campus da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) em Campos dos Goytacazes, RJ.

3.2.1. Caracterização da área de estudo

A área em estudo corresponde a um arvoredo que faz parte da composição paisagística da UENF, localizado entre os edifícios P2/anexo e P4, é composto por 88 espécimes de *Erythrina velutina* (Mulungu; Eritrina) que já se encontram como

árvores de médio/grande porte (cerca de 20 anos de idade); a área de transição é caracterizada por presença de matéria orgânica em decomposição decorrente da queda das folhas das árvores, presença de vegetação esporádica, calçada e rua; e o gramado adjacente corresponde a uma ampla extensão coberta de grama cujo limite com o arvoredo é feito por um caminho em alvenaria (Figura 13).

Esse arvoredo, em específico, é comumente utilizado para ensaios fotográficos de formandos, gestantes e de casamentos, devido à sua beleza ímpar, independente do estágio fenológico.



Figura 13. Área de estudo aproximada correspondente ao bosque de *Erythrina velutina*, gramado e área de transição imediatamente entre estes. Aerofotografia: uenf.br

3.2.2. Análises estáticas de temperatura e umidade relativa do ar e *Sky View Factor*

No verão de 2020, em quatro dias ensolarados consecutivos (dias 1, 2, 3 e 4 do mês de fevereiro), três bases de coleta de dados foram instaladas nas áreas de estudo: (A) Gramado; (B) Transição; (C) Arvoredo. As posições das bases foram dispostas nas posições mostradas na Figura 14.

Cada uma das bases consistia de um abrigo *HOBOWare solar shield*, necessário para prevenir que os raios solares causassem erro nas leituras, contendo um termohigrômetro equipado com um *datalogger* HOBOWare PRO V2, elevado a 2 m de altura em relação ao nível do solo por meio de cano PVC (Figura 15).



Figura 14. Posicionamento de instalação das bases estáticas na área do gramado, transição e arvoredo.

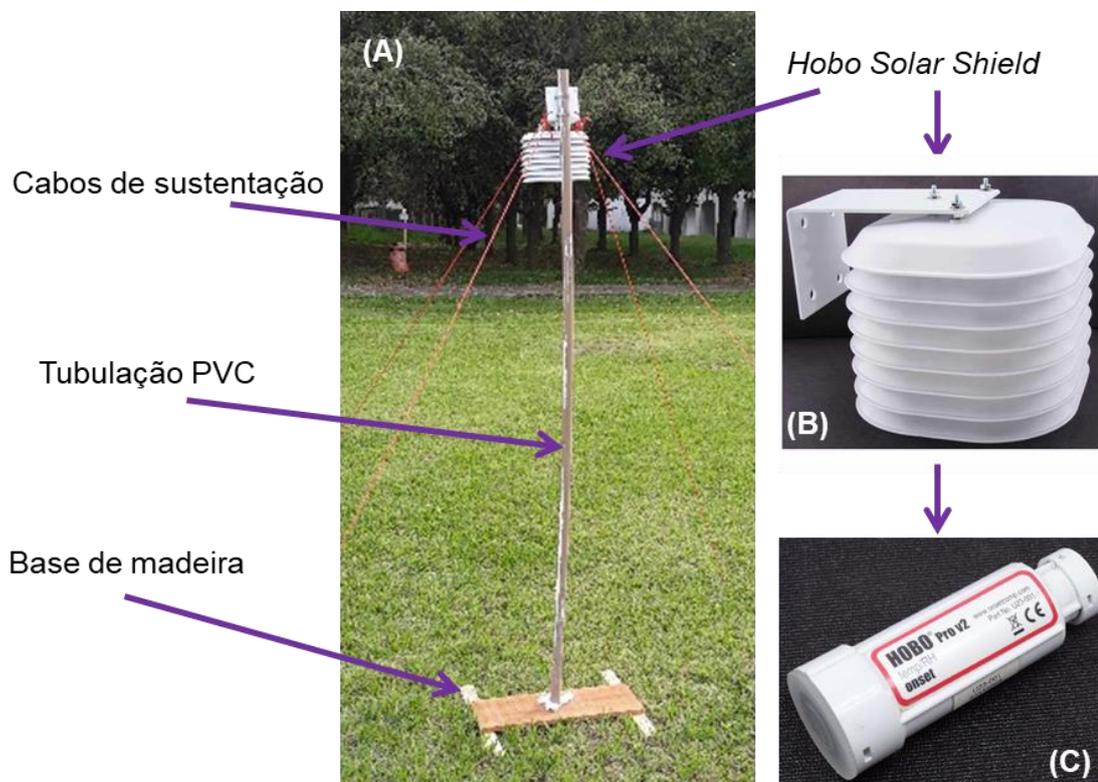


Figura 15. Base disposta na área do Gramado. (A) Visão geral das bases estáticas e seus componentes; (B) Detalhe do *Hobo Solar Shield*; (C) Detalhe do *datalogger* de registro da temperatura do ar (TA) e umidade relativa do ar (UR%) modelo *Hobo Pro V2*.

As bases foram configuradas para registrar a UR% e a TA a cada 1 (um) minuto. A tomada dos SFV para calcular o UTCI foi realizada utilizando-se um sensor modelo Sony® IMX258 equipado com uma lente grande angular de 120° para a obtenção das fotografias do tipo *fisheye*. Imagens obtidas por esse método fotográfico foram processadas como mostrado na Figura 6. A Tmrt em cada uma das bases ao longo do dia foi calculada assim como descrito na Parte 1 (item 3.1.3)

Os dados de temperatura do ar, UR%, Tmrt e de temperatura UTCI foram submetidos à análise de variância (ANOVA) em parcelas subdivididas (DIC). O fator A foi composto pela área de instalação da base: gramado; área de transição e arvoredo; e o fator B pelos horários de avaliação: 00:00h-05:59h (madrugada), 06:00h-11:59h (manhã), 12:00h-17:59h (tarde), 18:00h-23:59h (noite); em quatro repetições (dias experimentais). Adotou-se como nível de significância 5% probabilidade.

Ao longo dos dias foram tomadas leituras da velocidade do vento utilizando o anemômetro THAL-300, em que foram consideradas duas médias distintas e atribuídas aos períodos manhã/tarde e noite/madrugada.

3.2.3 Avaliações Espaciais do SVF

As análises espaciais do SVF foram processadas numa malha de 10x10m por duas maneiras distintas: por meio da construção de um modelo de simulação como no item 3.1.1; e pelo método fotográfico em que cada ponto em análise foi obtido da mesma forma que foram registrados os SVF nas bases estáticas (item 3.2.2).

Para a modelagem das árvores no *Ray Man Editor*, foi tomada a média das características dendrométricas de 10 árvores aleatórias, e a média foi utilizada como referência para o arvoredo, uma vez que é composto por árvores de uma única espécie e com a mesma idade. A altura das árvores e dos prédios foi obtida utilizando-se um hipsômetro digital a laser modelo *TruPulse 200 Series* fabricado pela *Laser Technology Inc* (Figura 16).

Na Figura 17 são dispostas as malhas que compuseram a análise espacial do SVF.

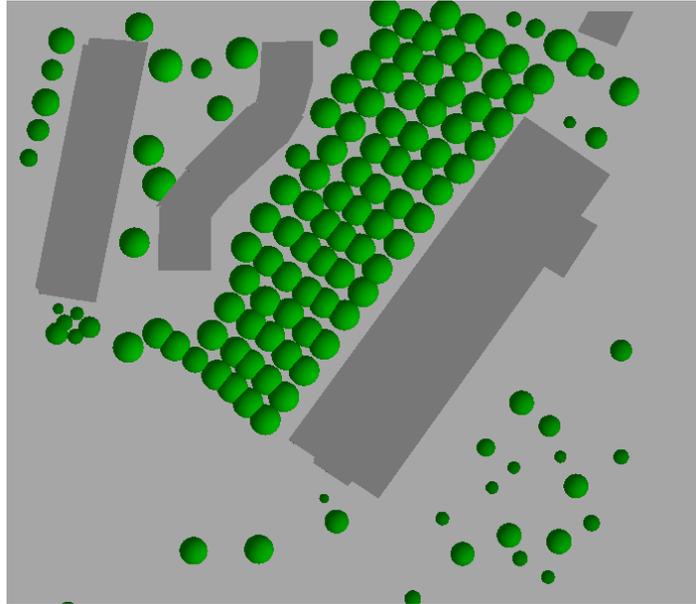


Figura 16. Cenário de simulação completo desenvolvido no *Rayman Editor*, tendo como base um arvoredo de *Erythrina velutina* no campus da UENF, em Campos dos Goytacazes- RJ.

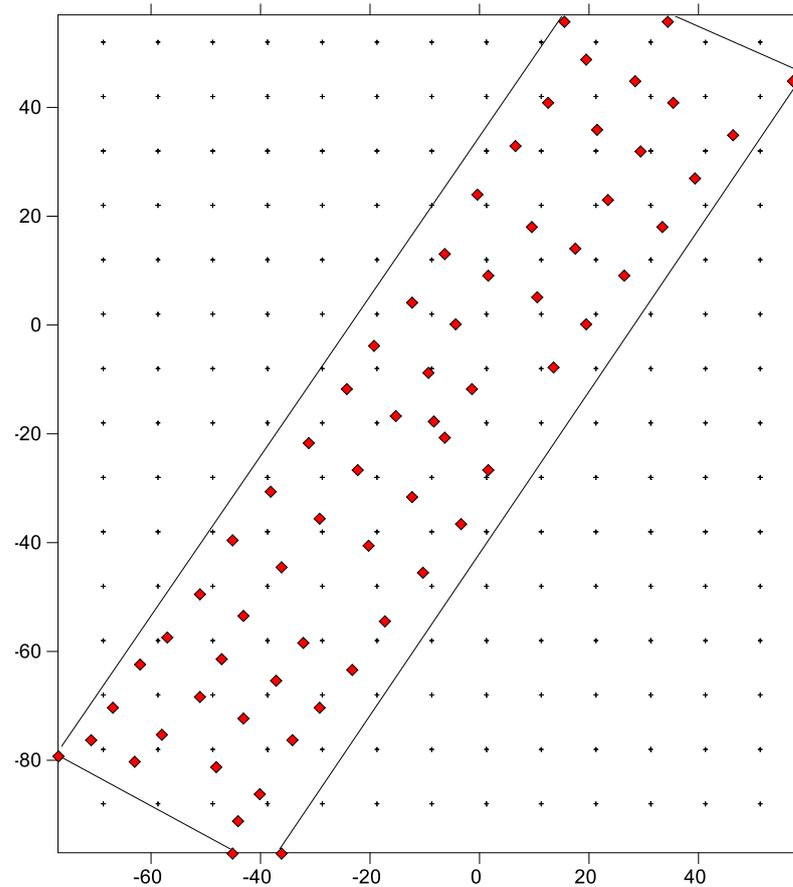


Figura 17. Malha 10x10m das análises espaciais Parte II: (+) análise por modelo via simulação (*Rayman Editor*) performedo pelo *Sky Helios*; (◆) análise por registro fotográfico em área de transição entre um gramado e um arvoredo.

Após o processamento, os SVF calculados para os pontos do modelo de simulação, que estão dentro do limite experimental definido, e os SVF de ponto processados por fotografia foram comparados por teste *t* pareado ao nível de 5% de probabilidade. Diferentemente das análises de teste *t* realizadas na Parte I, aqui os pontos obtidos pelos dois métodos não coincidem e, por este motivo, o teste foi procedido utilizando-se os dados da linha do perfil de elevação SVF.

3.2.4 Avaliação espacial do conforto térmico instantâneo

Um dos dias experimentais foi escolhido para realizar a amostragem espacial instantânea da UR%, TA e velocidade do vento a dois metros de altura, com início às 12h30min, nos pontos utilizados para análise de SVF pelo método fotográfico. Essa análise foi realizada utilizando-se uma das próprias bases (Figura 15) que teve sua instalação em caráter semifixo (base do arvoredo). Para a velocidade do vento foi tomada a média obtida para o período manhã e tarde do item 3.2.2.

Foi calculada a temperatura UTCI (°C) de cada ponto conforme o roteiro resumido na Figura 6, utilizando fotografias originadas como descrito no item 3.2.1.

Todas as análises da variabilidade espacial foram procedidas da forma como explanado na “Parte I”.

A avaliação do conforto térmico na área de transição entre o arvoredo e o gramado foi realizada por meio do próprio mapa de variabilidade da temperatura UTCI, e por meio de um perfil de UTCI.

3.3. Parte III – Avaliação da continuidade espacial dos componentes da percepção térmica e da *Universal Temperature Climate Index* (UTCI), em áreas verdes de Campos dos Goytacazes, RJ.

A pesquisa correspondente à Parte III foi realizada em áreas verdes do município de Campos dos Goytacazes: no Horto Municipal (CS1); no Jardim São Benedito e Praça do Santíssimo Salvador, realizada para entender por meio dos variogramas se a temperatura do ar (TA), umidade relativa do ar (UR%), *Sky View Factor* (SVF), temperatura média radiante (T_{mrt}) e *Universal Temperature Climate*

Index (UTCI) variam no espaço em um nível de continuidade que seja possível de modelar variogramas empíricos.

Foram realizadas análises da continuidade espacial por meio de variogramas dos fatores que compõem o conforto térmico, e a respectiva performance de reconstituição das variáveis estudadas estão detalhadas na Tabela 8.

A T_{mrt} foi modelada pelo *software Solweig 1D* e a percepção térmica UTCI estimada pelo *software Rayman Pro*. Ambas as variáveis foram processadas com o vento fixo em 2 m s^{-1} .

A avaliação da continuidade de cada variável foi realizada por meio de variogramas obtidos por análises realizadas como descrito na Parte 1, item 3.1.2 utilizando o *software Surfer 18*.

Foi realizada uma correlação de Pearson para as variáveis estudadas no Horto Municipal (análise 3), Jardim São Benedito e Praça do Santíssimo Salvador. Todos os dados foram normalizados. Adotou-se como nível de significância $p < 0,05$.

3.3.1. Caracterização das áreas de estudo.

3.3.1.1. Horto Municipal

O Horto Municipal de Campos de Goytacazes (Figura 18a) pode ser considerado uma das mais importantes áreas verdes da cidade, tendo em vista que foi, entre as áreas verdes do município, a que recebeu o maior aporte financeiro no período de 2010 a 2018 (Teixeira, 2019).

O Horto Municipal possui diversidade relativa de espécies arbóreas incluindo árvores nativas e exóticas. A área apresenta um maciço de verde arbóreo que forma ao longo de boa parte de sua área total de aproximadamente 1,5ha uma ampla área sombreada disponível para a população campista, além de um pequeno orquidário, e infraestruturas básicas de um parque. O Horto Municipal é muito frequentado aos finais de semana pela população campista e, também, é cenário frequente para ensaios fotográficos.

3.3.1.2. Jardim São Benedito

O Jardim São Benedito (Figura 18b), que é formalmente chamado de Praça Nilo Peçanha, é uma importante área verde de Campos dos Goytacazes e está localizado em área mais central quando comparada ao Horto Municipal. Numa área de aproximadamente 1,6ha, o Jardim São Benedito contém áreas arborizadas, bem como equipamentos urbanos de estar e lazer como, por exemplo, a academia ao ar livre, quadra poliesportiva, quiosques, e conectividade via Wi-Fi gratuita (CIDAC, 2015).



Figura 18. Imagens de satélite (Google LLC.) do (A) Horto Municipal e (B) Jardim São Benedito, na cidade de Campos dos Goytacazes (RJ).

Tabela 8. Detalhamento das análises espaciais realizadas

Área	Análise	Variável	Amostragem ¹	Data	Horário ²	Equipamento
Horto Municipal	1	TA	134	18/10/19	12:55	<i>Hobo Pro</i>
		UR%	134	18/10/19	12:55	<i>Hobo Pro</i>
	2	TA	146	18/10/19	12:55	<i>Hobo Pro</i>
		UR%	146	18/10/19	12:55	<i>Hobo Pro</i>
	3	TA	57	01/03/19	12:30	THAL-300
		UR%	57	01/03/19	12:30	THAL-300
		SVF	57	Abril/19	-	Fotografias
		Tmrt	57	01/03/19 ³	12:30 ⁴	<i>Solweig 1D</i>
		UTCI	57	01/03/19 ³	12:30 ⁴	<i>Rayman Pro</i>
	Jardim São Benedito	1	TA	44	28/02/19	12:00
UR%			44	28/02/19	12:00	THAL-300
SVF			44	Março/19	-	Fotografias
Tmrt			44	28/02/19 ³	12:00 ⁴	<i>Solweig 1D</i>
UTCI			44	28/02/19 ³	12:00 ⁴	<i>Rayman Pro</i>
Praça do SS. Salvador (CS1)	1	TA	52	25/02/19	13:00	THAL-300
		UR%	52	25/02/19	13:00	THAL-300
		SVF	52	-	-	<i>Sky Helios</i>
		Tmrt	52	25/02/19 ³	13:00 ⁴	<i>Solweig 1D</i>

¹Amostragens em malha aleatória; ²Horário de início do registro; ³Data de referência para o cálculo; ⁴Horário de referência para o cálculo; HM – Horto Municipal (diferentes números indicam diferentes análises); JSB – Jardim São Benedito; SS – Praça do Santíssimo Salvador; TA – Temperatura do ar; UR% – Umidade relativa do ar; SVF – *Sky View Factor*; Tmrt – Temperatura média radiante; UTCI – *Universal Climate Index*.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO.

4.1. Parte I – Variabilidade espacial de índices *Sky View Factor* e do conforto térmico na Praça do Santíssimo Salvador: cenários de simulação.

4.1.1 Análise de performance das análises espaciais.

As análises de validação cruzada pelos critérios adotados nessa pesquisa mostram que a reconstituição espacial para SVF, o cenário de simulação 2 (simulação fotográfica) foi o único que não apresentou performance aceitável. Para a temperatura UTCI nos cenários de simulação 1, 2 e 3 também tiveram performance insatisfatória, enquanto os índices PMV apenas os cenários 2 e 3 apresentaram análises com classificação inferior a aceitável (Tabela 9 e Tabela 10). Ressalta-se que em nenhum dos modelos foi encontrado efeito pepita puro, que ocorre quando não é possível estabelecer uma continuidade espacial da variabilidade da variável. Ainda, os critérios aqui utilizados para julgar a performance podem ser considerados, de certa forma, rigorosos, pois na literatura estão disponíveis classificações menos criteriosas para classificar o coeficiente de performance Nash-Sutcliffe. Dessa forma, mesmo por vezes considerados inaceitáveis, os modelos de variogramas apresentaram algum grau de continuidade espacial.

Tabela 9. Análise da performance de predição "um-de-fora" (validação cruzada) da variabilidade espacial de índices *Sky View Factor* SVF de cenários de simulação (CS) de arborização urbana na Praça do Santíssimo Salvador em Campos dos Goytacazes por simulação fotográfica por via de 52 pontos (malha aleatória) e simulação 1x1m automatizada pelo software *Sky Helios*

CS ¹	DP ²	ME ³	RQME ⁴	CPNS ⁵	Classificação
CS 1	0,060	0.0024	0,032	0,71	Aceitável
CS 2	0,084	-0.0007	0,075	0,20	Insatisfatório
CS 3	0,191	0.0007	0,063	0,89	Bom
CS 4	0,167	0.0003	0,074	0,81	Bom
CS 5	0,192	-0.0009	0,065	0,89	Bom
Simulação 1 x 1m					
CS 1	0,161	-0.0029	0,058	0,87	Bom
CS 2	0.177	0.0014	0,036	0,95	Muito Bom
CS 3	0.196	-0.0014	0,033	0,97	Muito Bom
CS 4	0.195	0.0022	0,039	0,90	Muito Bom
CS 5	0.208	0.0012	0,031	0,97	Muito Bom

¹Cenário de simulação (1= praça atual; 2 = praça anterior a atual; 3, 4, 5 = adição progressiva de sombreamento por árvores); ²Desvio Padrão; ³Média do erro;

⁴Raiz quadrática média do erro; ⁵Coeficiente de performance. Nash-Sutcliffe.

Tabela 10. Análise da performance de predição "um-de-fora" (validação cruzada) da variabilidade espacial de UTCI (*Universal Temperature Climate Index*) e PMV (*Perceived Mean Temperature*) de cenários de simulação (CS) de arborização urbana, na Praça do Santíssimo Salvador, em Campos dos Goytacazes, via de 52 pontos em uma malha de amostragem aleatória

CS ¹	DP ²	ME ³	RQME ⁴	CPNS ⁵	Classificação
CS 1	0,27	-0.0029	0,219	0,39	Insatisfatório
CS 2	1,98	-0,0088	1,90	0,08	Insatisfatório
CS 3	3,02	-0.0786	2,4	0,36	Insatisfatório
CS 4	3,10	0.0151	1,83	0,66	Aceitável
CS 5	2,97	0.0311	1,60	0,70	Aceitável
PMV					
CS 1	0,07	0.0003	0,041	0,67	Aceitável
CS 2	0,53	-0.0113	0,49	0,15	Insatisfatório
CS 3	0,67	-0.0160	0,52	0,40	Insatisfatório
CS 4	0,70	-0.0138	0,43	0,66	Aceitável
CS 5	0,71	0.003	0,22	0,91	Muito Bom

¹Cenário de Simulação (1= praça atual; 2 = praça anterior a atual; 3, 4, 5 = adição progressiva de sombreamento por árvores); ²Desvio Padrão; ³Média do erro;

⁴Raiz quadrática média do erro; ⁵Coeficiente de performance Nash-Sutcliffe.

O coeficiente utilizado para avaliar a performance varia de $-\infty \leq CPNS \leq 1$, em que um (1) representa um ajuste perfeito entre dados observados e estimados; o zero (0) significa um ponto em que a média geral dos valores observados é um melhor preditor do que o próprio modelo (Ritter e Muñoz-carpena, 2013). A avaliação da performance não compreende apenas a modelagem do variograma, mas também dos próprios valores Z e dos erros que possam apresentar. Valores menores que 0 são possíveis, mas normalmente indicam que há erros grosseiros de *inputs* ou *outputs* dos dados (Ritter e Muñoz-carpena, 2013). Observa-se que o cenário de simulação 2 (CS2) quando analisado pela simulação fotográfica (SVF, UTCI e PMV) foi entre os cenários criados o que respondeu com pior performance.

4.1.2. Sky View Factor: Praça do Santíssimo Salvador

Os resultados obtidos com os cenários de simulação construídos para a Praça do Santíssimo Salvador apresentaram diferenças significativas de SVF observadas entre a maioria dos modelos estudados (Tabela 11). Com base em uma comparação direta pareada, fica evidenciado que a Praça, em sua última remodelação, sofreu uma redução significativa ($<0,0001$) de elementos que possuem a capacidade de fornecer bloqueios da visão do céu (Sim 1 x Sim 2), em que os pontos de análise do modelo atual apresentaram índices SVF em média 17% superiores (Tabela 12).

Segundo Pimentel (2016), a remodelação da Praça do Santíssimo Salvador não agradou à maioria da população que na época do estudo, passados cerca de 10 anos, ainda parecia ter o sentimento de não pertencimento em relação à nova face da Praça. Sentimento este agravado por questões que estão além do âmbito do planejamento urbano intrínsecos à Praça. O mesmo autor relatou que antes a Praça que tinha o tom do verde, conferido por gramado, canteiros e árvores, agora exibe aparência cinza, e destaca o fato de não oferecer sombra.

Tabela 11. Comparação de índices *Sky View Factor* (SVF) por teste t pareado, obtidos em diferentes cenários de simulação (CS) de arborização urbana na Praça do Santíssimo Salvador, em Campos dos Goytacazes, por simulação fotográfica de 52 pontos em uma malha de amostragem aleatória.

Teste	¹ n	² Média	³ DP	Teste t	Valor-P ⁴
CS 1 x CS 2	52	0,12	0,08	10,82	<0,0001
CS 1 x CS 3	52	0,17	0,16	7,22	<0,0001
CS 1 x CS 4	52	0,17	0,13	8,95	<0,0001
CS 1 x CS 5	52	0,20	0,16	8,79	<0,0001
CS 2 x CS 3	52	0,04	0,19	1,62	0,1112
CS 2 x CS 4	52	0,05	0,18	2,00	0,0513
CS 2 x CS 5	52	0,08	0,20	2,66	0,0106
CS 3 x CS 4	52	0,01	0,08	0,56	0,5796
CS 3 x CS 5	52	0,03	0,09	2,58	0,0131
CS 4 x CS 5	52	0,03	0,06	3,09	0,0033

¹Número de termos; ²Média da diferença; ³Desvio padrão da diferença; ⁴Dois caudas.

Tabela 12. Estatística descritiva de índices *Sky View Factor* (SVF), obtidos em diferentes cenários de simulação de arborização urbana na Praça do Santíssimo Salvador, em Campos dos Goytacazes, por simulação fotográfica de 52 pontos em uma malha de amostragem aleatória.

CS ¹	N	Média	Desv. Pad ² .	V. Mín ³	V. Máx ⁴
Simulação 1	52	0,669	0,060	0,580	0,829
Simulação 2	52	0,541	0,084	0,246	0,764
Simulação 3	52	0,496	0,191	0,140	0,791
Simulação 4	52	0,490	0,167	0,139	0,724
Simulação 5	52	0,463	0,192	0,135	0,724

¹Cenário de simulação; ²Desvio padrão; ³Valor mínimo observado; V. ⁴Valor máximo observado.

O relato de Pimentel (2016) não fica apenas na impressão e sensação da observação do autor e do relato de seus entrevistados: houve, de fato, uma redução significativa do elemento arbóreo que tem a capacidade de reduzir os índices SVF (CS 1 x C2; $p < 0,0001$) e, por sua vez, de também fornecer sombra; aspectos estes que as palmeiras inseridas na remodelação não conseguem suprir.

Na Figura 19 está disposta a variabilidade espacial para o cenário atual da Praça: é possível observar (Figura 19b) que as palmeiras não conseguem modificar muito a forte homogeneidade da distribuição espacial dos índices SVF e, por

consequência, não conseguem criar abrigos de sombra. As faces leste e oeste da Praça possuem SVF ligeiramente menores do que as encontradas na porção central, e isto se devem ao fato da contribuição dos prédios, que são mais altos na face leste. Neste sentido, pela manhã os prédios ainda devem contribuir também para o fornecimento de sombra no local; efeito que não ocorre no período da tarde, em virtude de as construções serem mais baixas na face oeste.

Para CS1 (configuração atual), quando comparados os mapas gerados, embora de interpretação semelhante, nota-se que o mapa da simulação fotográfica não detecta áreas de reduções de SVF nas faces leste e oeste causadas pelas palmeiras/prédios, evidenciando a diferença de performance de reconstituição.

Segundo Chen et al. (2012), reconstituir uma estimativa de índices SVF no mundo real não é uma tarefa simples, pois os métodos convencionais (utilizando câmeras fotográficas) possuem a limitação de que investigam apenas alguns pontos isolados.

Nesse trabalho, a amostragem simula a aquisição de SVF numa dimensão equivalente à fotográfica, conseguiu (não apenas no modelo 1, mas em todos os modelos de simulação) encontrar uma continuidade espacial coerente nos modelos de variogramas, embora o cenário de simulação 2 (CS2) tenha obtido baixa performance. Apesar do processamento dos cenários de simulação em alta densidade de amostragem tenham, por vezes, revelado detalhes que passam sem serem notados quando os cenários são processados por simulação fotográfica, sempre foi possível realizar interpretações gerais semelhantes aos dos mapas gerados. Isso indica que uma densidade mesmo que considerada baixa, pode ser utilizada para explicar os cânions urbanos por meio da geoestatística a depender do nível de detalhamento necessário.

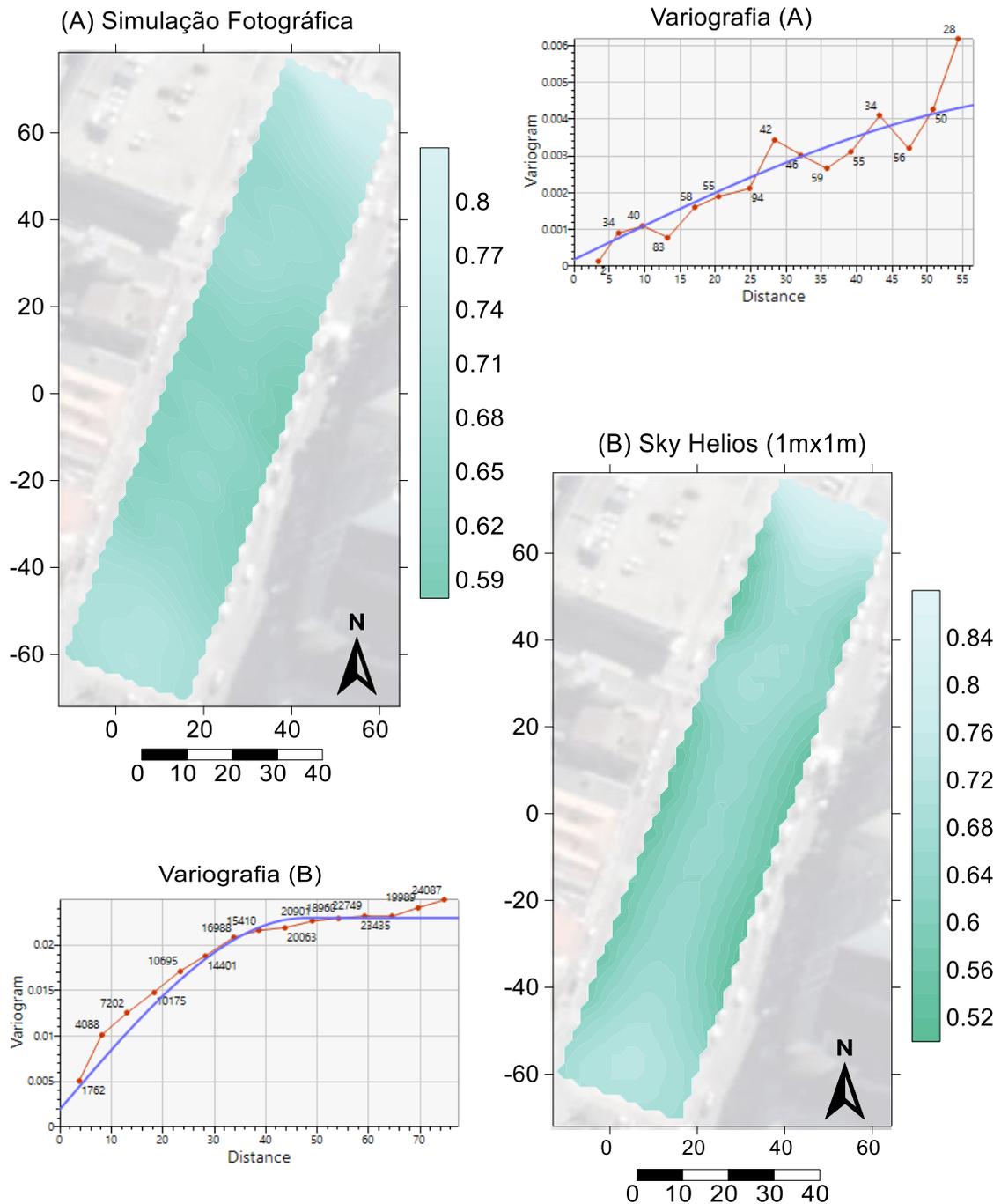


Figura 19. Reconstituição da variabilidade espacial de *Sky View Factor* (SVF) do cenário de simulação 1 (CS1) de arborização urbana na Praça do Santíssimo Salvador, em Campos dos Goytacazes (RJ), por simulação fotográfica por via de (a) 52 pontos (malha aleatória) e (b) simulação 1x1m automatizada pelo software *Sky Helios*.

Além disso, Chen et al. (2012) mencionam que métodos via *software* estão em desenvolvimento, mas que estes não estão disponíveis de forma acessível para

a comunidade e, ainda, que apenas alguns pontos limitados e específicos de SVF são pouco úteis na sua compreensão espacial.

Nesse ponto, a geoestatística, que ainda é pouco utilizada no ambiente urbano, permite de maneira mais compreensível e simplificada fornecer utilidade a esses dados considerados limitados mencionados anteriormente pelos autores. Isso porque, uma vez que é estabelecida uma dependência espacial entre os pontos em avaliação, é possível reconstituir dentro de um erro e performance conhecidos qualquer coordenada da área em estudo, fornecendo função para a informação que antes era tida como “limitada”.

Na região central onde se procedeu com a análise do perfil de elevação de SVF, as duas malhas de amostragem se apresentaram extremamente parecidas, e a análise também indica que não flutuaram muito abaixo dos 0,700 (Figura 20).

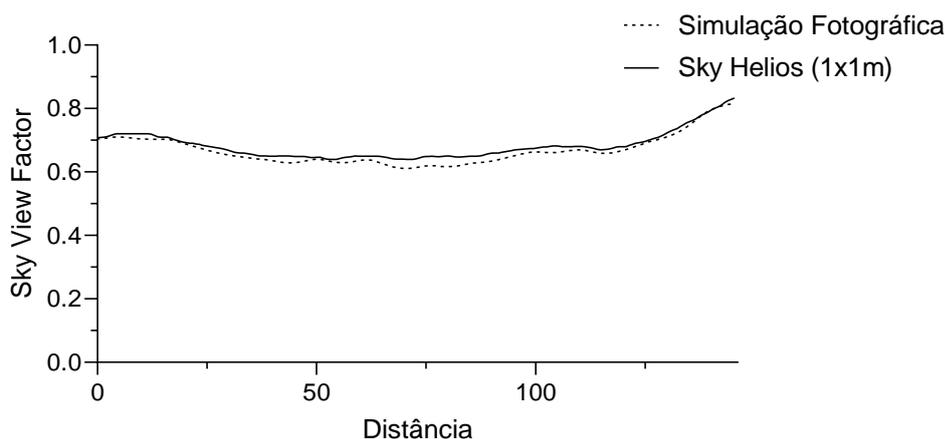


Figura 20: Perfis de elevação de *Sky View Factor* (SVF) dos cenários de simulação 1 (CS1) de arborização urbana na Praça do Santíssimo Salvador, em Campos dos Goytacazes (RJ), por simulação fotográfica por via de 52 pontos (malha aleatória) e simulação 1x1m automatizada pelo *software Sky Helios*.

Para exemplificar o que isso pode significar no comportamento de utilização da Praça pela população, pode-se analisar a pesquisa de Lin et al. (2012), que observaram que a partir do $SVF = 0,400$, a permanência das pessoas nas áreas verdes urbanas é reduzida significativamente. Ou seja, levando em consideração a média de 0,669 (máximo de 0,829) (Tabela 12), o modelo atual da Praça do Santíssimo Salvador apresenta um índice de SVF 62% maior (em média) em relação ao valor de SVF em que as pessoas tendem a reduzir a permanência nos

parques urbanos, praticamente inviabilizando o uso da Praça pelas pessoas. Pimentel (2016) observou exatamente essa mudança de comportamento na Praça em estudo, o local que antes era utilizado para estar se transformou num ambiente apenas de passagem/travessia de um lado para o outro nos momentos mais quentes do dia.

O cenário de simulação 2 (CS2) (Figura 17) representou a reconstituição espacial de SVF em que mais foi observada diferença de performance de reconstituição espacial entre as densidades de amostragem. Não é coincidência que se trata, entre os modelos que foram criados, do que requer uma explicação mais detalhada do ambiente. Este detalhamento vem do fato de que não há maciços ou organização das árvores de maneira específica, mas sim uma distribuição não uniforme dos elementos no espaço. E ainda, o cenário de simulação 2 (CS2) é o único que apresenta árvores no exterior da Praça (fora dos limites estabelecidos), as quais, assim como os edifícios, possuem influência nos índices SVF, evidenciando a riqueza de detalhes desse cenário.

Na Figura 21b nota-se que algumas árvores que estão perfeitamente delineadas no mapa, não aparecem com precisão no mapa 21a. Embora ainda se possa tirar algum tipo de conclusão acerca do mapa gerado com baixa densidade de SVF, em alguns pontos do espaço em que há mudanças abruptas do SVF não foi possível detectá-las, evidenciando a necessidade de uma maior amostragem para explicar esse cenário de simulação.

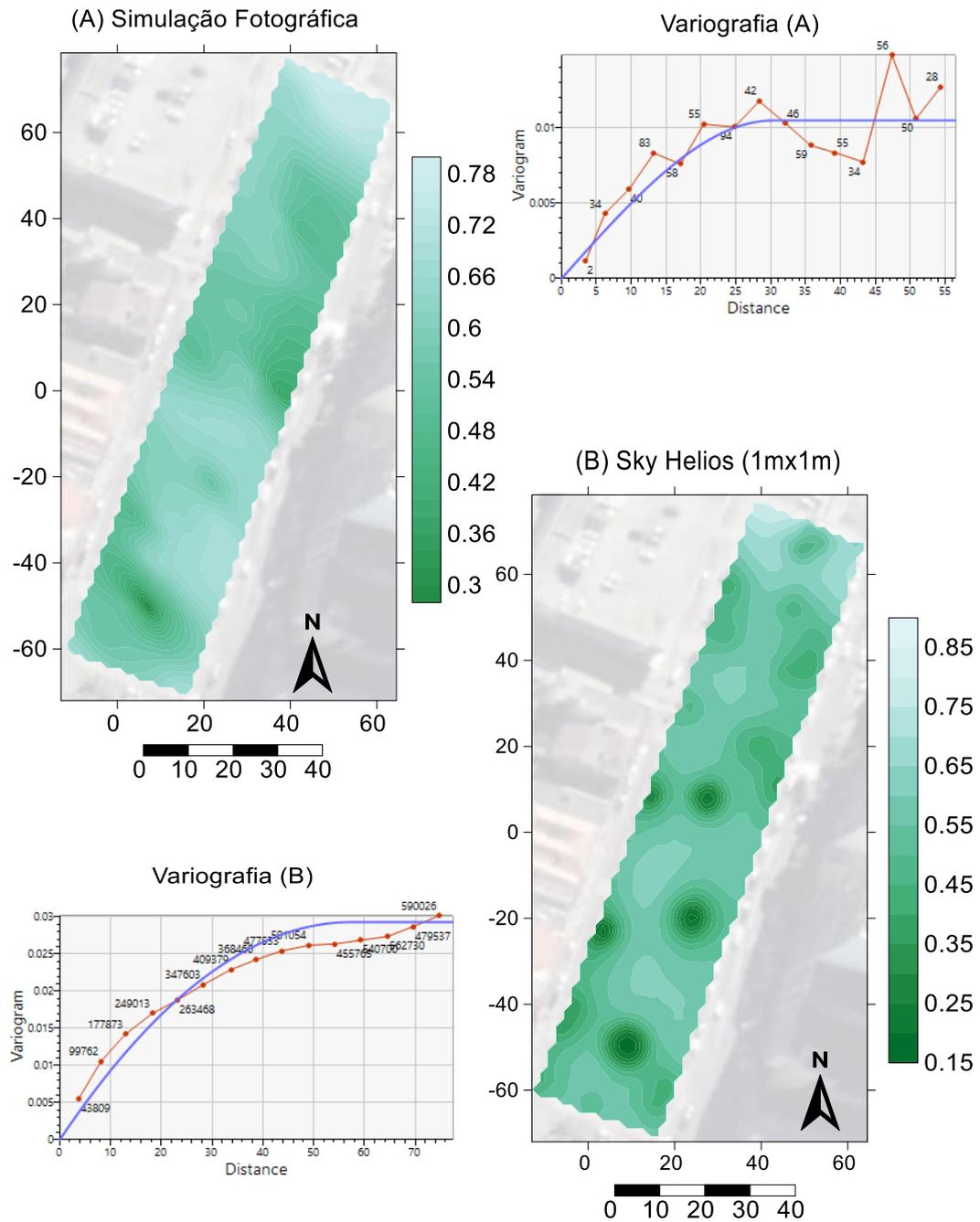


Figura 21: Reconstituição da variabilidade espacial de *Sky View Factor* (SVF) do cenário de simulação 2 (CS2) de arborização urbana na Praça do Santíssimo Salvador, em Campos dos Goytacazes (RJ), por simulação fotográfica por via de (a) 52 pontos (malha aleatória) e (b) simulação 1x1m automatizada pelo software *Sky Helios*.

Reforçando ao fato anteriormente mencionado, nota-se, por exemplo, que uma abrupta redução dos SVF, próximo aos 20 m (ainda no setor sul) foi detectada em ambos os perfis; porém, mais à frente, aos 45 m e aos 80 m, observam-se duas

depressões de SVF que não apareceram de forma clara no modelo de simulação fotográfica (Figura 22).

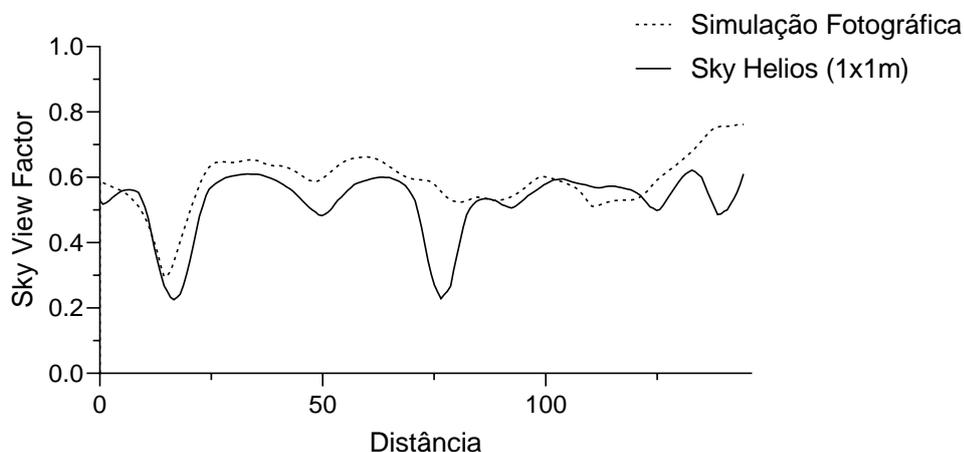


Figura 22. Perfis de elevação de *Sky View Factor* (SVF) dos cenários de simulação 2 (CS2) de arborização urbana na Praça do Santíssimo Salvador, em Campos dos Goytacazes (RJ), por simulação fotográfica por via de 52 pontos (malha aleatória) e simulação 1x1m automatizada pelo software *Sky Helios*.

Esse resultado de SVF do cenário de simulação 2 (CS2) pode indicar que quanto maior a complexidade do ambiente urbano, ou seja, uma maior heterogeneidade espacial do formato dos cânions que são formados pelos elementos em altura que têm a capacidade de modificar os SVF (árvores, arbustos, construções etc.), maior a densidade/padrão de amostragem de pontos exigida para explicá-los com maior precisão.

Não foi detectada diferença significativa entre o cenário de simulação 3 e o 4 (CS 3 x CS4) $p = 0,5796$), esse é diferente do cenário 5 (CS 3 x CS 5; $p = 0,0131$), que por sua vez difere estatisticamente do cenário 4 (CS 4 x CS5; $p = 0,0033$) (Tabela 11).

Os modelos de simulação 3, 4 e 5 foram planejados para representarem a adição progressiva de árvores urbanas. Embora este trabalho não leve em consideração a função atual da Praça, as possíveis modificações de uso que a Praça possa sofrer se for incrementado o número de árvores, em estilos paisagísticos, nos três modelos se evitou posicionamento de árvores no setor extremo norte para preservar os arredores de um monumento existente nesse local,

assim como no setor extremo sul, para evitar quaisquer obstruções que poderiam impedir uma visão da Igreja homônima da Praça.

Muitas cidades do mundo cresceram sem o planejamento adequado da arborização urbana, sendo assim, agora, em uma época em que o benefício que as árvores trazem está muito mais esclarecido, tem havido um esforço para introduzi-las no meio urbano da forma correta (Jim, 2004). Sendo ainda uma demanda encontrada no Plano Diretor da cidade de Campos dos Goytacazes (RJ) que menciona como diretrizes para a promoção da arborização urbana: a criação e consolidação de áreas verdes; a conservação dos bosques urbanos existentes; assim como o incremento dos níveis de arborização urbana com a finalidade de elevação do benefício ambiental, destacando-se os padrões térmicos da região (Campos dos Goytacazes, 2019). Ainda, no plano, há menção à criação do Plano Diretor de Arborização Urbana em até 24 meses, a contar da publicação do Plano Diretor de 2019.

O centro histórico/comercial de Campos dos Goytacazes (RJ), onde está localizada a Praça do Santíssimo Salvador, possui poucas árvores, e as suas ruas estreitas inviabilizam o plantio de árvores. Assim, a Praça do Santíssimo Salvador consiste em uma excelente opção para o incremento de arborização urbana no centro histórico da cidade. A ausência de espaços livres para o plantio de árvores nessa região foi constatada por Araújo et al. (2018) que concluíram que os únicos espaços amplos da região do centro histórico/comercial da cidade consistem da própria Praça do Santíssimo Salvador e da margem do Rio Paraíba do Sul. Os autores consideraram essas como as únicas opções viáveis para o incremento dos níveis de arborização urbana nessa parte da cidade. Um acertado planejamento da arborização urbana na Praça pode significar uma melhoria das suas opções de utilização, além de beneficiar todo o entorno, pois, segundo os mesmos autores, ao longo do tempo houve uma supressão das árvores urbanas, não apenas na Praça em si, mas nas redondezas de uma forma geral.

Os maciços de árvores introduzidos no cenário de simulação 3, mesmo utilizando apenas o modelo de árvores 1 (Tabela 7), foi o suficiente para criar locais com baixo SVF e que possuem potencial de se tornarem locais de estar com a introdução de bancos adequados (Figura 23).

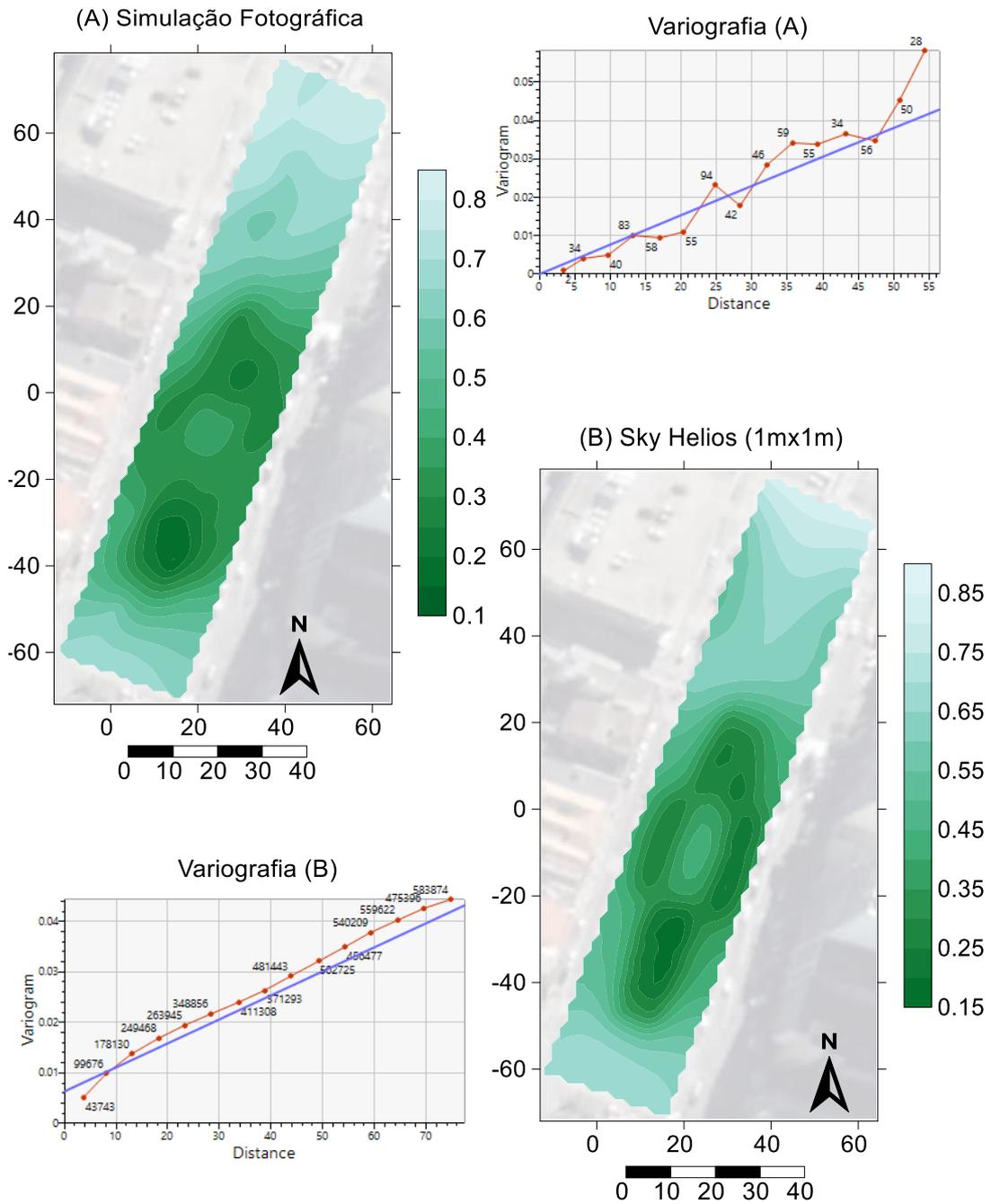


Figura 23. Reconstituição da variabilidade espacial de *Sky View Factor* (SVF) do cenário de simulação 3 (CS3) de arborização urbana na Praça do Santíssimo Salvador, em Campos dos Goytacazes (RJ), por simulação fotográfica por via de (a) 52 pontos (malha aleatória) e (b) simulação 1x1m automatizada pelo *software Sky Helios*.

Quando observados os mapas gerados para o cenário de simulação 3 (CS3), estes se mostram mais parecidos entre si e apresentam uma diferença de performance menor quando comparados com os mapas do modelo 2 (CS2). Isso deve indicar que há uma relação entre a densidade de amostragem (malha) e a

complexidade do ambiente onde a mesma malha de amostragem deve ter sua eficácia reduzida, à medida que se eleva a complexidade do ambiente reconstituído.

Segundo Wadoux et al. (2019), a amostragem em curtas distâncias tem um efeito crítico na redução do erro experimental, e que por consequência modelam a variância baseado em uma variância real menor, aumentando a confiança no variograma estimado.

No entanto, qual o n de uma amostragem mínima? Parece não existir uma resposta teórica para tal. Journel (1978), em livro de geoestatística aplicada à mineração, sugere-se um número mínimo de 50 pontos para reconstituir um variograma. Webster e Oliver (1993) sugerem um número mínimo de 49, e ótimo de 100 pontos conhecidos. Esses mesmos autores, em livro sobre a geoestatística aplicada às ciências ambientais, sugerem que um variograma para ser modelado, requer no mínimo 35 pontos (Webster e Oliver, 2001). Deve-se ressaltar, porém, que a modelagem de um variograma não é um simples cálculo. Segundo Whuber (2013), algo que é normalmente deixado de lado nas discussões para o sucesso da reconstituição de uma variância espacial empírica a partir da variância espacial real, é a habilidade de quem modela.

Os perfis de elevação de SVF do cenário de simulação 3 (CS3) (Figura 24) são praticamente idênticos, o que pode indicar o sucesso da reconstituição espacial em baixa densidade na capacidade de “mapear a visão do céu”, mesmo com sua dependência espacial mais instável. Duas depressões de SVF, aos 35 m e aos 80 m, indicam locais que poderiam ser utilizados para equipamentos urbanos como, por exemplo, bancos de estar.

Os perfis do CS3 (Figura 24) mostram ainda que numa distância de ± 20 m da distância do pavimento asfáltico entre a Praça e a Igreja, há uma redução abrupta do SVF sem que existam bloqueios de visão entre o maciço verde e a igreja, sendo assim, o modelo não ignora a importância arquitetônica da igreja e sua contribuição para a Praça, mantendo-a com uma visão desobstruída para o público frequentador da Praça.

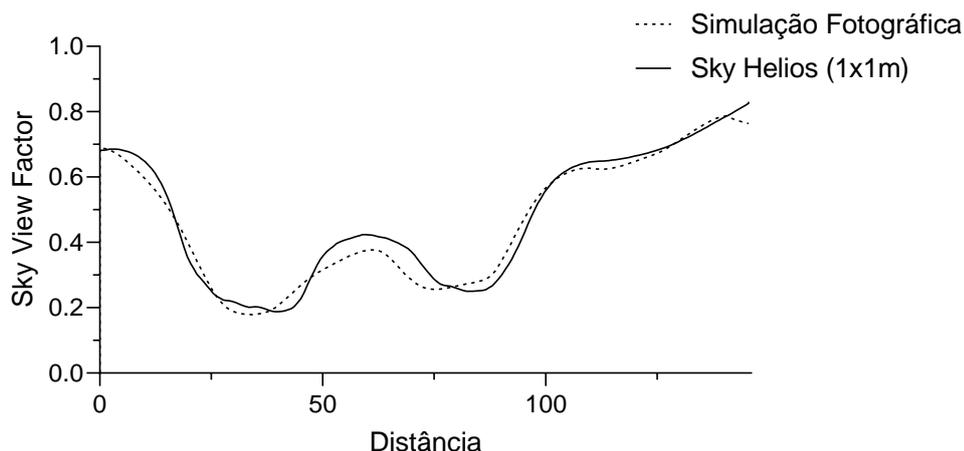


Figura 24. Perfis de elevação de *Sky View Factor* (SVF) dos cenários de simulação 3 (CS3) de arborização urbana na Praça do Santíssimo Salvador, em Campos dos Goytacazes (RJ), por simulação fotográfica por via de 52 pontos (malha aleatória) e simulação 1x1m automatizada pelo software *Sky Helios*.

Os modelos cenários de simulação 3 e 4 (CS3 e CS4) que são estatisticamente iguais (CS 3 x CS 4; $p=0,5796$; Tabela 11) mostraram resultados muito semelhantes entre si. Na Figura 25, estão dispostas as reconstituições do cenário de simulação 4 (CS 4).

No cenário de simulação 4 (CS4) (assim como no cenário de simulação 5 (CS 5) foram inseridas duas árvores da espécie hipotética 2, no limite extremo norte da Praça, como sendo os únicos elementos modificados no setor norte. Observa-se no mapa obtido por amostragem de simulação fotográfica do CS4 (Figura 25a), a não detecção de mudanças no padrão de bloqueio da visão do céu nessa região. Essa falha de detecção das árvores no setor norte foi evidenciada também ao analisar os perfis (Figura 26): enquanto as árvores que estão em maciço são representadas com razoável precisão (depressão de SVF aos 25 m e 80 m), isso não ocorre aos 140 m, quando a amostragem por simulação fotográfica não consegue mostrar a redução do SVF nessa região.

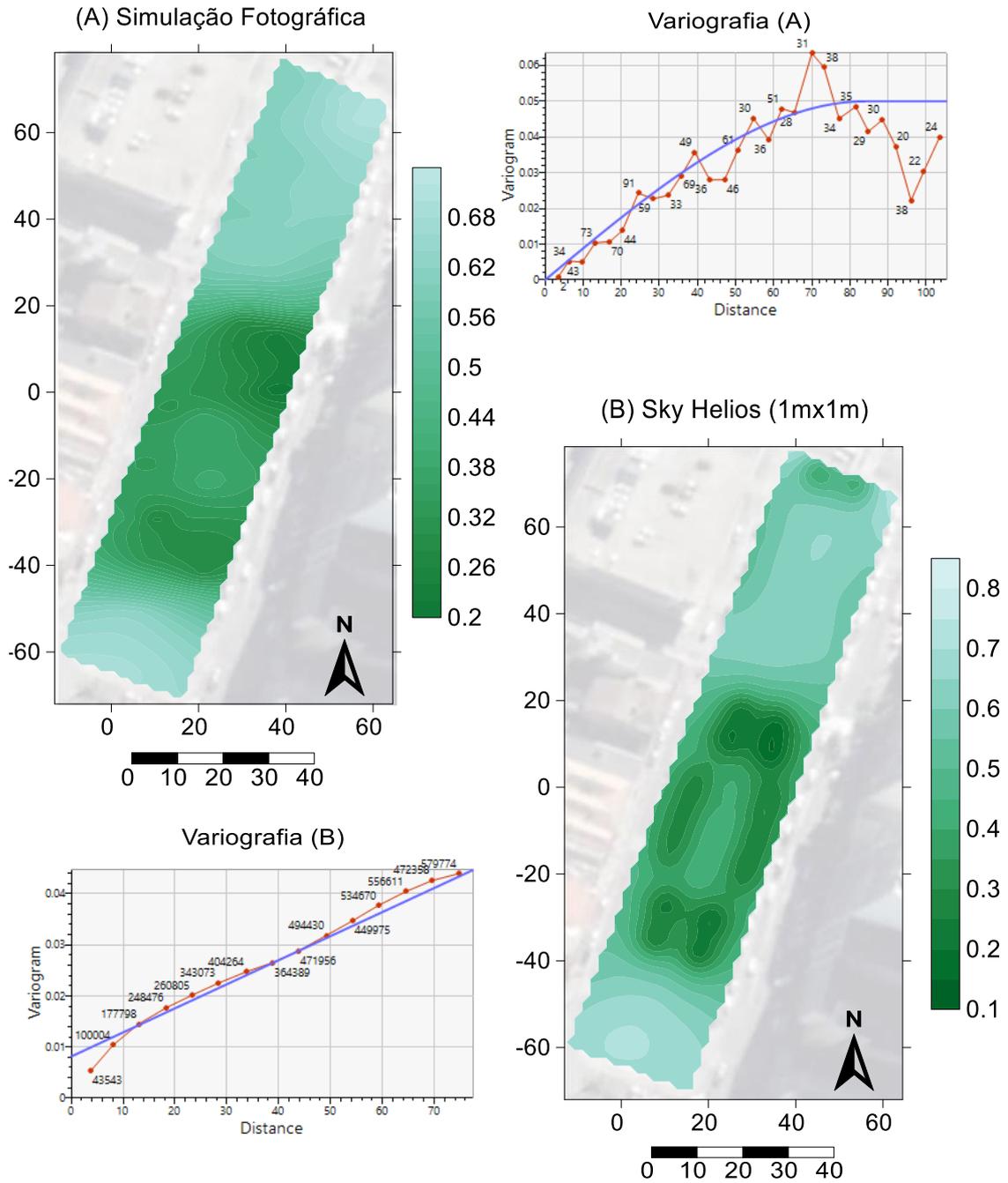


Figura 25. Reconstituição da variabilidade espacial de *Sky View Factor* (SVF) do cenário de simulação 4 (CS4) de arborização urbana na Praça do Santíssimo Salvador, em Campos dos Goytacazes (RJ), por simulação fotográfica por via de (a) 52 pontos (malha aleatória) e (b) simulação 1x1m automatizada pelo software *Sky Helios*.

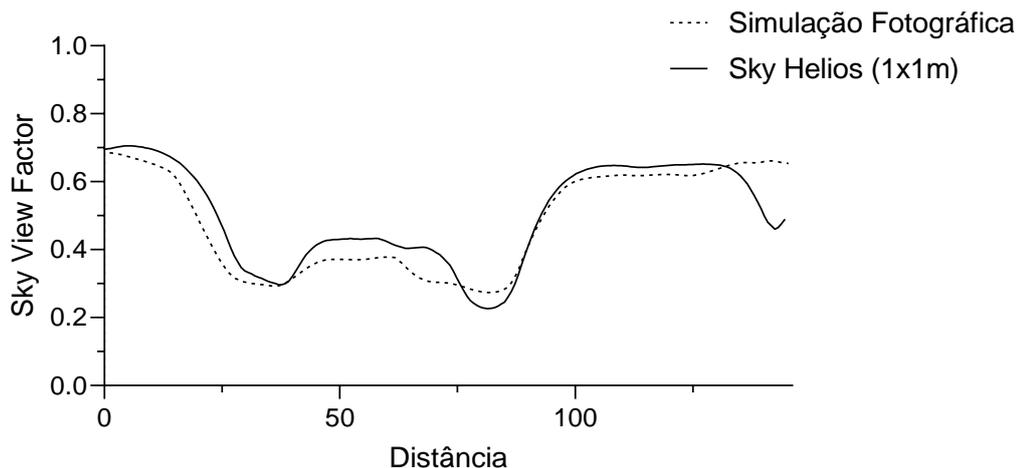


Figura 26. Perfis de elevação de *Sky View Factor* (SVF) dos cenários de simulação 4 (CS4) de arborização urbana na Praça do Santíssimo Salvador, em Campos dos Goytacazes (RJ), por simulação fotográfica por via de 52 pontos (malha aleatória) e simulação 1x1m automatizada pelo *software Sky Helios*.

Neste sentido, é importante que o profissional julgue a sua necessidade para compreender melhor o nível de esforço que precisa ser empenhado na malha de amostragem. Caso objetive-se apenas uma compreensão geral do ambiente, é possível que não seja necessária uma alta densidade de pontos amostrados, podendo-se inclusive obter os SVF da forma mais tradicional que é por fotografias. Porém, se constatada a necessidade de que sejam explicados os bloqueios do céu com alta resolução, métodos que permitam uma alta densidade, como o método que usa o *Sky Helios*, podem ser utilizados.

A tecnologia de informação, especialmente as ferramentas colaborativas de desenvolvimento permitem um intercâmbio de dados que facilitam a construção dos modelos de simulação. Algumas cidades do mundo já possuem modelos de elevação de suas paisagens/construções completamente modeladas em plataformas como o *Open Street Maps*® possibilitando o processamento de dados de SVF em uma alta densidade, assim como a realizada neste trabalho, ou até mesmo em malhas mais densas do que 1m x 1m e, ainda, permitindo sair de delimitações que variam de algumas centenas de metros a, até mesmo, uma cidade inteira analisada.

Embora os modelos digitais de elevação urbana permitam entender com uma grande resolução espacial os índices SVF, a capacidade de processamento disponível de dados (*hardware*) ainda pode ser um fator limitante: os modelos

desenvolvidos nesta pesquisa foram construídos em um ambiente de 200m x 200m, um ambiente relativamente pequeno, segundo o *output file* do *Sky Helios*, cada modelo teve 26821 pontos analisados em cerca de 1 hora de processamento em que fora utilizado um computador equipado com um processador Intel® core I3-6006U e 4GB de memória RAM. Estas marcas indicam a necessidade de um computador com características muito mais robustas para processar cidades inteiras em um processamento que poderia se estender por várias horas ou até mesmo dias.

A Figura 27 mostra os respectivos mapas de SVF do modelo de simulação 5. A utilização apenas da espécie 2, reduziu significativamente os SVF entre os cenários de simulação 4 e 5 (CS4 x CS5, $p=0,0033$) (Tabela 11), embora não tenha havido grandes mudanças de posicionamento das árvores no planejamento dos cenários de simulação, sendo diferenciados apenas pela capacidade do bloqueio causado pelas diferentes espécies hipotéticas

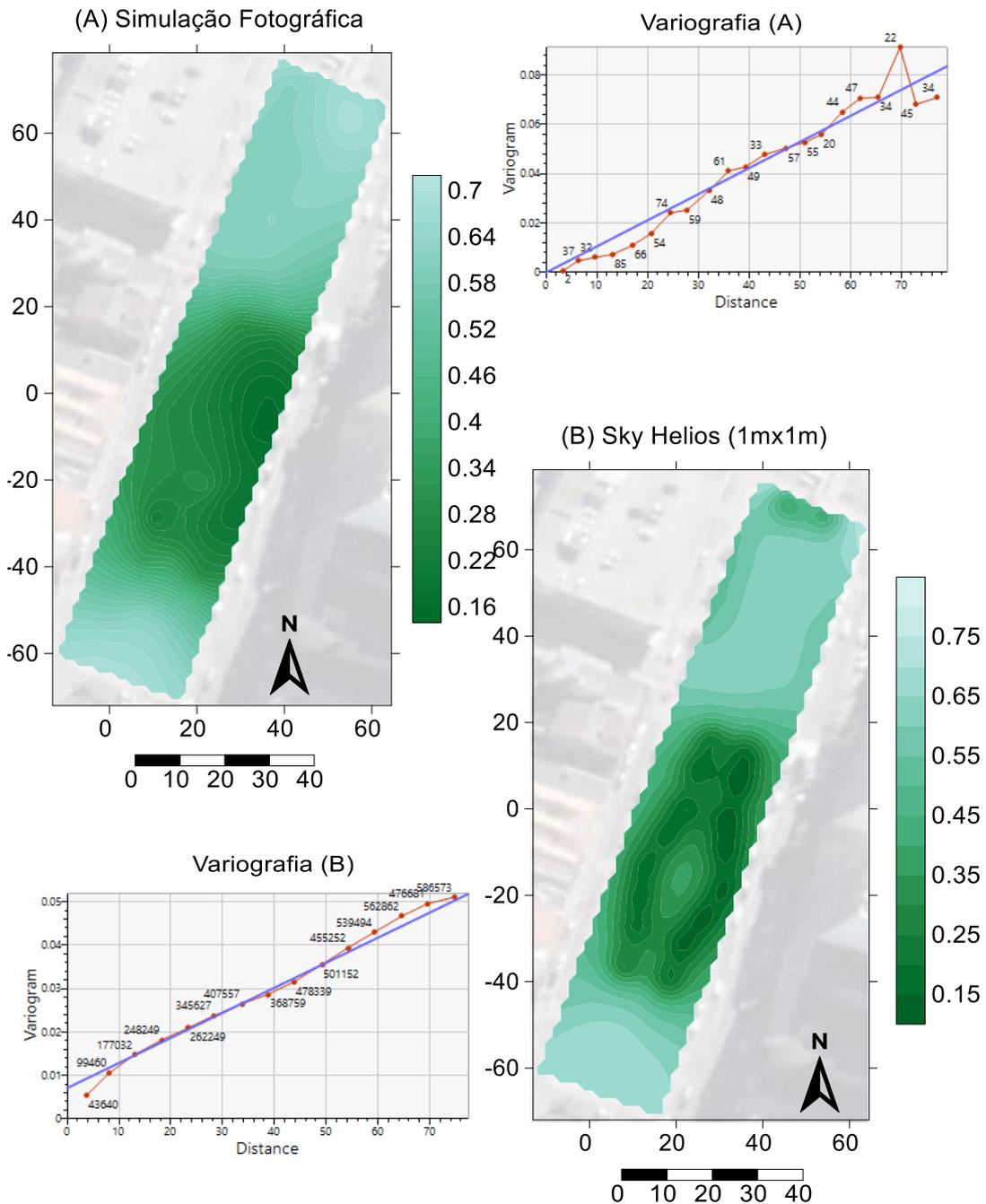


Figura 27. Reconstituição da variabilidade espacial de *Sky View Factor* (SVF) do cenário de simulação 5 (CS5) de arborização urbana na Praça do Santíssimo Salvador, em Campos dos Goytacazes (RJ), por simulação fotográfica por via de (a) 52 pontos (malha aleatória) e (b) simulação 1x1m automatizada pelo *software Sky Helios*.

A variabilidade espacial do cenário de simulação 5 que foram krigados a partir de variogramas com estabilidade espacial semelhante aos cenários 3 (CS 3) e 4 (CS4), e que guardadas suas respectivas peculiaridades de densidades de amostragem não divergem das conclusões no que diz respeito capacidade de

interpretação dos mapas, apresentando inclusive uma relativa ótima performance que é evidenciada pela análise do perfil (Figura 28).

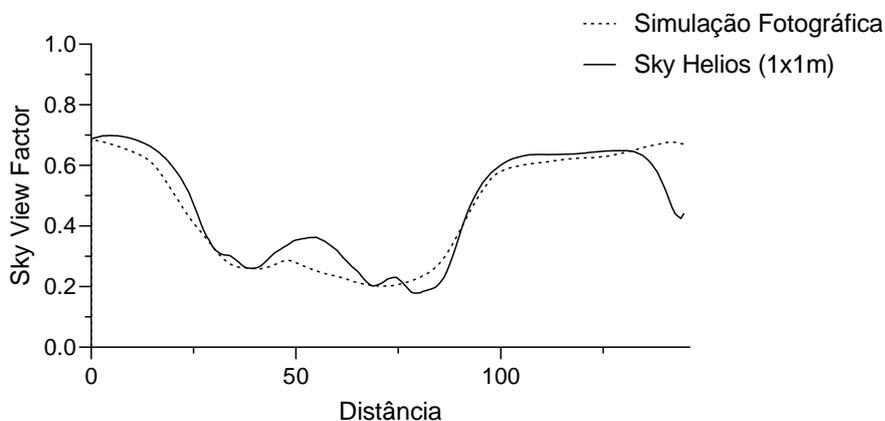


Figura 28. Perfis de elevação de *Sky View Factor* (SVF) dos cenários de simulação 4 (CS4) de arborização urbana na Praça do Santíssimo Salvador, em Campos dos Goytacazes (RJ), por simulação fotográfica por via de 52 pontos (malha aleatória) e simulação 1x1m automatizada pelo software *Sky Helios*.

Quando é analisado o cenário de simulação 5 (CS 5) e o modelo atual (CS1), a inserção de 20 árvores que podem ser classificadas como árvores de grande porte, pode parecer demasiado, porém ressalta-se a maneira conservadora de como os modelos foram criados, por exemplo: a permanência das palmeiras, que poderiam ser substituídas pelas árvores simuladas, foram mantidas em todos os modelos (com exceção do modelo de simulação 2, pois na época não existiam) de forma a preservar o recurso monetário já investido; e manutenção da vista da igreja e dos monumentos presentes na Praça. Além disso, considerando que as árvores seriam implantadas como mudas (2,20 m de altura), a mudança na paisagem seria gradativa, e não abrupta como ocorreu em sua última remodelação.

Pelas características da Praça do Santíssimo Salvador e dos seus arredores, ela poderia ainda sofrer intervenções mais profundas. Seguindo uma tendência mundial, como realizando a substituição da área de pavimento de rodagem de veículos por uma área destinada à circulação de pedestres, nas faces leste, oeste e sul, criando uma área conhecida como “*green shopping*” (Jim, 2004), embora essa hipótese requeira estudos complexos como o impacto no tráfego na Av. 15 de Novembro (Beira Rio) na face norte. Este é apenas um exemplo de

modificação mais profunda que a Praça poderia sofrer, o que demonstra o quão conservador foram os diferentes ambientes cenários de arborização urbana criados neste estudo para compreender a dependência espacial dos índices SVF.

4.1.3. Variabilidade espacial: UTCI e PMV

As análises dos índices do conforto térmico espacial realizadas nesse trabalho são instantâneas, sendo assim, diferentes dos mapas de SVF permanecem válidos até que seja realizado um manejo na vegetação arbórea ou a construção de edifícios e estruturas com capacidade de bloqueio da visão do céu.

Embora uma análise instantânea no espaço não forneça a indicação variação no tempo do conforto térmico, este nos mostra como é distribuído, funcionando como se fosse uma “fotografia aérea” da área em estudo.

Entre as variáveis que foram registradas a campo para o cálculo dos índices de conforto térmico, apenas a velocidade do vento se comporta como uma variável instável ao longo da coleta, enquanto a temperatura e a umidade relativa do ar apresentam-se muito estáveis, indicando que variam pouco no espaço no momento do registro (Tabela 13).

Tabela 13. Estatística descritiva do termohigrometria e velocidade do vento instantâneos registrados 52 pontos em uma malha aleatória no espaço na Praça do Santíssimo Salvador, em Campos dos Goytacazes (RJ)

Variável	n ¹	DP ²	Média
³ Temp. do Ar (°C)	52	0,34	31,90
⁴ UR do Ar (%)	52	0,84	71,88
⁵ V. Vento (m s ⁻¹)	52	1,24	1,94

¹Número de termos; ²Desvio padrão da média; ³Temperatura do ar; ⁴Umidade relativa do ar; ⁵Velocidade do vento.

A instabilidade da velocidade do vento é justificável pela própria natureza da variável, e a sua modelagem está além da possibilidade de serem utilizados simples modelos que a expliquem. Segundo Zajic et al. (2011), existe uma forte

dependência entre os fluxos de ar e a geometria do cânion urbano que é bastante variada nos centros urbanos.

Segundo Fröhlich e Matzarakis (2016), o índice UTCI que embora requeira uma velocidade do vento mínima de $0,5 \text{ m s}^{-1}$, possui tendência a não explicar corretamente a percepção térmica, quando a velocidade do vento se aproxima do limite mínimo exigido em situações de estresse térmico por temperatura elevada. Ramsden (2015) comenta que quando os valores de entrada se aproximam dos valores limítrofes, a equação que determina a UTCI responde com uma grande frequência de valores errôneos.

A velocidade média de $1,94 \text{ m s}^{-1}$ registrada é relativamente baixa para o verão campista, visto que, segundo a Normal Climatológica do Brasil 1981-2010 (Ramos e Rebello, 2018), Campos dos Goytacazes apresenta em seus meses de verão uma velocidade média do vento de $2,6 \text{ m s}^{-1}$.

Dessa forma, após constatada a impossibilidade de se utilizar os valores de z registrados, devido à instabilidade da variável, somada à possibilidade do retorno de valores com erro pelos índices de conforto e, ainda, pela facilidade de comparação com a literatura disponível, adotou-se 2.0 m s^{-1} de velocidade do vento. Para referência, 2.0 m s^{-1} (3,88 nós) está dentro da faixa 2 da escala Beaufort que é definida como uma “leve brisa” agradável ao rosto (Barua, 2005), mais apropriada para a cidade de Campos dos Goytacazes. A utilização de valores fixos de velocidade vento ou obtidos por médias temporais é comum para estudos que envolvem a percepção térmica, em alguns casos pode-se realizar os cálculos, considerando duas intensidades de vento assim como procedido no trabalho de Lyu et al. (2019).

A temperatura do ar mostrou uma pequena variação ao longo da amostragem. Embora a coleta de dados não tenha sido realizada de forma simultânea no sentido literal do que é de fato simultâneo, uma vez que o registro foi realizado caminhando-se pela área da praça, os resultados de um desvio padrão de $0,34^\circ\text{C}$ que, quando combinados a um erro de $\pm 1,2^\circ\text{C}$ (Instruterm, sem data) de leitura do termômetro, indicam a baixa variabilidade espacial dessa variável e reforçam poder-se considerar a instantaneidade do registro dos dados.

A comparação dos cenários, para UTCI e PMV é disposto na Tabela 14.

Tabela 14. Comparação da UTCI (*Universal Temperature Climate Index*) por teste t pareado obtidos em diferentes cenários de simulação (CS) de arborização urbana na Praça do Santíssimo Salvador, em Campos dos Goytacazes, (RJ) por simulação fotográfica de 52 pontos em uma malha de amostragem aleatória.

Teste	n ¹	Média ²	DP ³	Teste t	p-valor ⁴
CS 1 x CS 2	52	0,65	2,24	2,02	0,0248
CS 1 x CS 3	52	1,91	2,68	4,94	<0,0001
CS 1 x CS 4	52	1,96	3,19	4,25	<0,0001
CS 1 x CS 5	52	3,49	2,82	8,57	<0,0001
CS 2 x CS 3	52	1,26	3,11	2,80	0,0037
CS 2 x CS 4	52	1,31	3,83	2,36	0,0111
CS 2 x CS 5	52	2,84	3,59	5,47	<0,0001
CS 3 x CS 4	52	0,05	2,14	0,17	0,4332
CS 3 x CS 5	52	1,58	2,93	3,74	0,0003
CS 4 x CS 5	52	1,53	2,66	3,98	<0,0001

¹Número de termos; ²Média da diferença; ³Desvio padrão da diferença; ⁴Dois caudas.

Tabela 15. Comparação da PMV (*Predicted Mean Vote*) por teste t pareado obtidos em diferentes cenários de simulação (CS) de arborização urbana na Praça do Santíssimo Salvador, em Campos dos Goytacazes (RJ) por simulação fotográfica de 52 pontos em uma malha de amostragem aleatória.

Teste	n ¹	Média ²	DP ³	Teste t	p-valor ⁴
CS 1 x CS 2	52	0,14	0,53	1,85	0,0354
CS 1 x CS 3	52	0,45	0,59	5,23	<0,0001
CS 1 x CS 4	52	0,49	0,62	5,42	<0,0001
CS 1 x CS 5	52	0,60	0,65	6,35	<0,0001
CS 2 x CS 3	52	0,31	0,72	2,93	0,0026
CS 2 x CS 4	52	0,34	0,81	2,93	0,0026
CS 2 x CS 5	52	0,46	0,83	3,80	0,0002
CS 3 x CS 4	52	0,04	0,39	0,66	0,2555
CS 3 x CS 5	52	0,15	0,60	1,75	0,0437
CS 4 x CS 5	52	0,11	0,44	1,75	0,0429

¹Número de termos; ²Média da diferença; ³Desvio padrão da diferença; ⁴Dois caudas.

As análises de conforto térmico baseadas nos modelos de simulação indicaram que a Praça do Santíssimo Salvador apresenta uma diferença significativa entre as UTCI ($p = 0,0248$) e no PMV ($p = 0,0354$) da sua versão antiga e atual configuração (CS 1 x CS 2) (Tabela 15). Enquanto o modelo atual possui

uma forte homogeneidade espacial dos respectivos índices, o modelo antigo apresenta alguns poucos pontos em que é possível se abrigar e permanecer à sombra, mas este efeito pontual foi suficientemente forte para causar a diferença observada nos índices.

O efeito nos índices de percepção térmica, anteriormente mencionado é observado quando comparado o resultado das respectivas variabilidades espaciais, enquanto a amplitude de registro na Praça nova (CS1) é de apenas 0,9°C UTCl e de 0,20 ponto PMV, o modelo antigo apresenta amplitude de 5,6°C UTCl e 1,8 ponto PMV (Figuras 30 e 31). Na configuração antiga da Praça (CS2) (também observado no CS3 e CS4) algumas árvores que causam mudanças nos índices SVF são detectáveis nos respectivos mapas de conforto térmico gerados, porém nem em todas, isso ocorre porque o ângulo de incidência do sol, embora apresente grande elevação devido ao horário, época do ano e latitude da cidade de Campos dos Goytacazes, não permite que ele incida exatamente a 90°.

Dessa forma, alguns pontos que embora estejam com baixo SVF, ou até mesmo literalmente sob a projeção da copa de uma árvore, podem apresentar baixo conforto térmico a depender da incidência direta de raios solares. Da mesma forma, o oposto ocorre quando um ponto apresenta altos valores de SVF, porém está na projeção da sombra. Ou seja, apesar de haver uma relação direta entre SVF e os índices de conforto térmico, o ângulo de elevação do sol é algo que modifica sensivelmente o conforto térmico sendo, portanto, uma variável mais instável espacialmente. Isso fica evidenciado nos variogramas de conforto térmico que apresentaram variâncias reais menos estáveis, quando comparado aos SVF. Os pontos isolados que estão sob o efeito anteriormente mencionados fazem com que a performance dos cenários de simulação sejam reduzidos, pois normalmente são únicos (isolados) e estão respondendo a um efeito que varia abruptamente no espaço. É provável que esse efeito seja maximizado nos horários de maior elevação do sol e é discutido com maiores detalhes na Parte 3 dessa pesquisa, mas que é antecipado na Figura 29: mesmo em área com baixo SVF, rodeado por árvores, naquele momento o ponto estava sob sol pleno, elevando-se em muito o desconforto térmico.

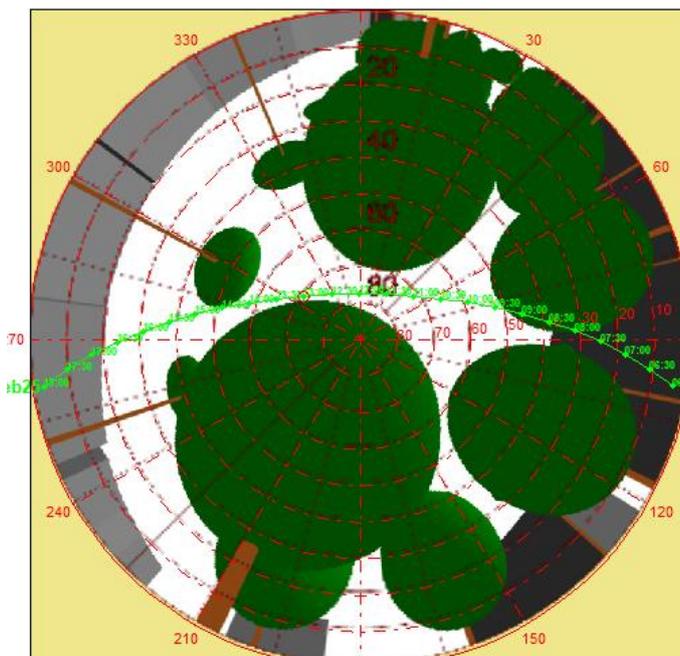


Figura 29. Caminho de passagem do sol no dia 25 de fevereiro às 13h. *Software Solweig 1D; Simulação fotográfica Rayman Editor e Sky Helios.*

Essa maior instabilidade dos variogramas está relacionada com a própria variável: a variabilidade espacial dos índices de percepção térmica parecem apresentar mudanças mais abruptas nos espaços, o que justifica o teste de validação cruzada indicar que houve uma melhor performance da amostragem em simulação fotográfica para índices SVF quando comparados aos índices UTCI e PMV que possuem em comum os mesmos pontos de z observados. Além disso, quando comparados os índices, o PMV teve melhor desempenho, e isso é justificável ao fato de vários valores de temperatura UTCI serem classificados ao mesmo valor de PMV formando áreas mais homogêneas.

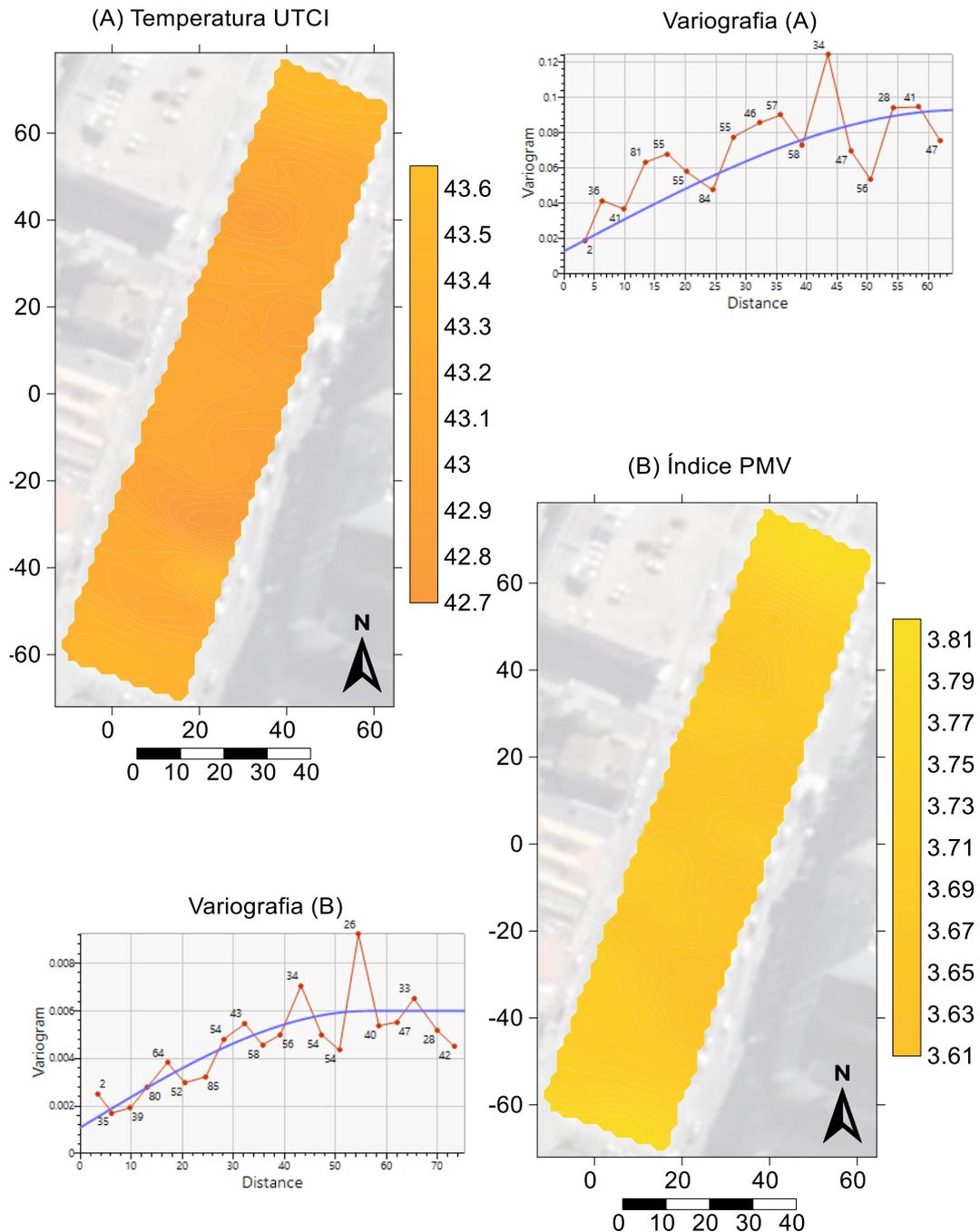


Figura 30. Reconstituição da variabilidade espacial instantânea de UTCI (*Universal Temperature Climate Index*)(a) e PMV (*Predicted Mean Vote*) (b) do cenário de simulação 1 (CS1) de arborização urbana na Praça do Santíssimo Salvador, em Campos dos Goytacazes (RJ), por simulação fotográfica por via de (a) 52 pontos (malha aleatória) em Tmrt simulada por *Solweig 1D*; Termohigrometria registrado a campo; velocidade do vento fixa a 2.0 m s^{-1} .

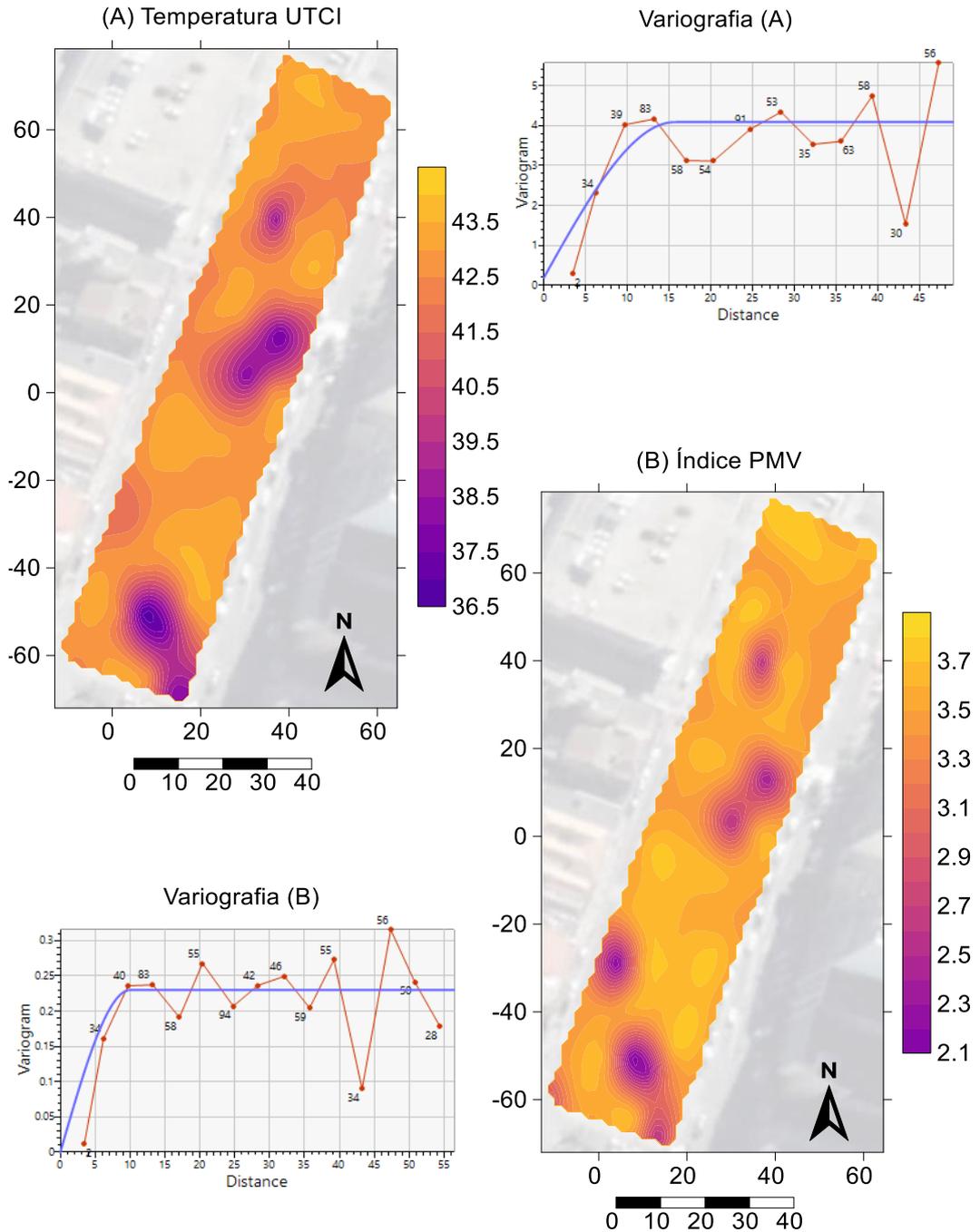


Figura 31. Reconstituição da variabilidade espacial instantânea de UTCI (*Universal Temperature Climate Index*)(a) e PMV (*Predicted Mean Vote*) (b) do cenário de simulação 2 (CS2) de arborização urbana na Praça do Santíssimo Salvador, em Campos dos Goytacazes (RJ), por simulação fotográfica por via de (a) 52 pontos (malha aleatória) em Tmrt simulada por *Solweig 1D*; Termohigrometria registrado a campo; velocidade do vento fixa a 2.0 m s^{-1} .

No resultado da variabilidade espacial de UTCI do cenário de simulação 2 (CS2) (Figura 31a) observa-se que o mapa de UTCI é visivelmente (fotointerpretação) menos detalhado quando comparado à variabilidade espacial índice PMV (Figura 31b). Isso pode indicar que o PMV responde com maior sensibilidade às mudanças no espaço. Além disso, ao fato do variograma do UTCI ter sido ajustado automaticamente pelo programa com um valor de efeito pepita diferente de 0, enquanto o PMV não apresentou efeito pepita. Um efeito pepita elevado pode indicar que há uma grande variação a curta distância, sendo assim, os pontos vizinhos apresentam alta variabilidade (Jakob, 2016). O efeito pepita ilustra possíveis erros de amostragem, e embora minimize os erros na krigagem, segundo Rockware (2019), é possível que o efeito pepita modifique em demasia os pontos de controle de modo que estes fiquem muito infieis ao valor original e, por isso, após a criação do mapa de contorno deve-se fazer uma avaliação crítica da qualidade do produto gerado. Por exemplo, o SVF não apresenta valores homogêneos em locais com árvores, se fosse gerada uma variabilidade espacial de contorno para SVF apresentando homogeneidade espacial, ele obrigatoriamente seria considerado inaceitável, sendo necessário realizar novamente a krigagem utilizando um variograma suprimindo-se o efeito pepita.

Os cenários de simulação 3 4 e 5, embora tenham se apresentado diferentes entre si (Tabela 14 e Tabela 15) (com exceção do CS 3 x CS 4; UTCI $p=0,2555$; e PMV $p = 0,4332$), conseguiram formar uma zona de conforto térmico significativamente superior na porção mediana da Praça (Figuras 32, 33 e 34).

Os três modelos com incremento de árvores, guardadas as diferenças no grau e disposição das árvores, foram capazes de reduzir o desconforto térmico em 1 nível UTCI. Porém, enquanto o cenário de simulação 3 (CS3) criou alguns pontos na classificação inferior, o modelo de simulação 5 (CS5) formou uma grande área, que poderia ser utilizada pela população como local de abrigo e estar. Levando em consideração a estação do ano em que foi realizada a pesquisa, é possível que nas outras estações, com temperaturas mais amenas e menor elevação do sol, a área de sombreamento cause uma ampliação do conforto térmico.

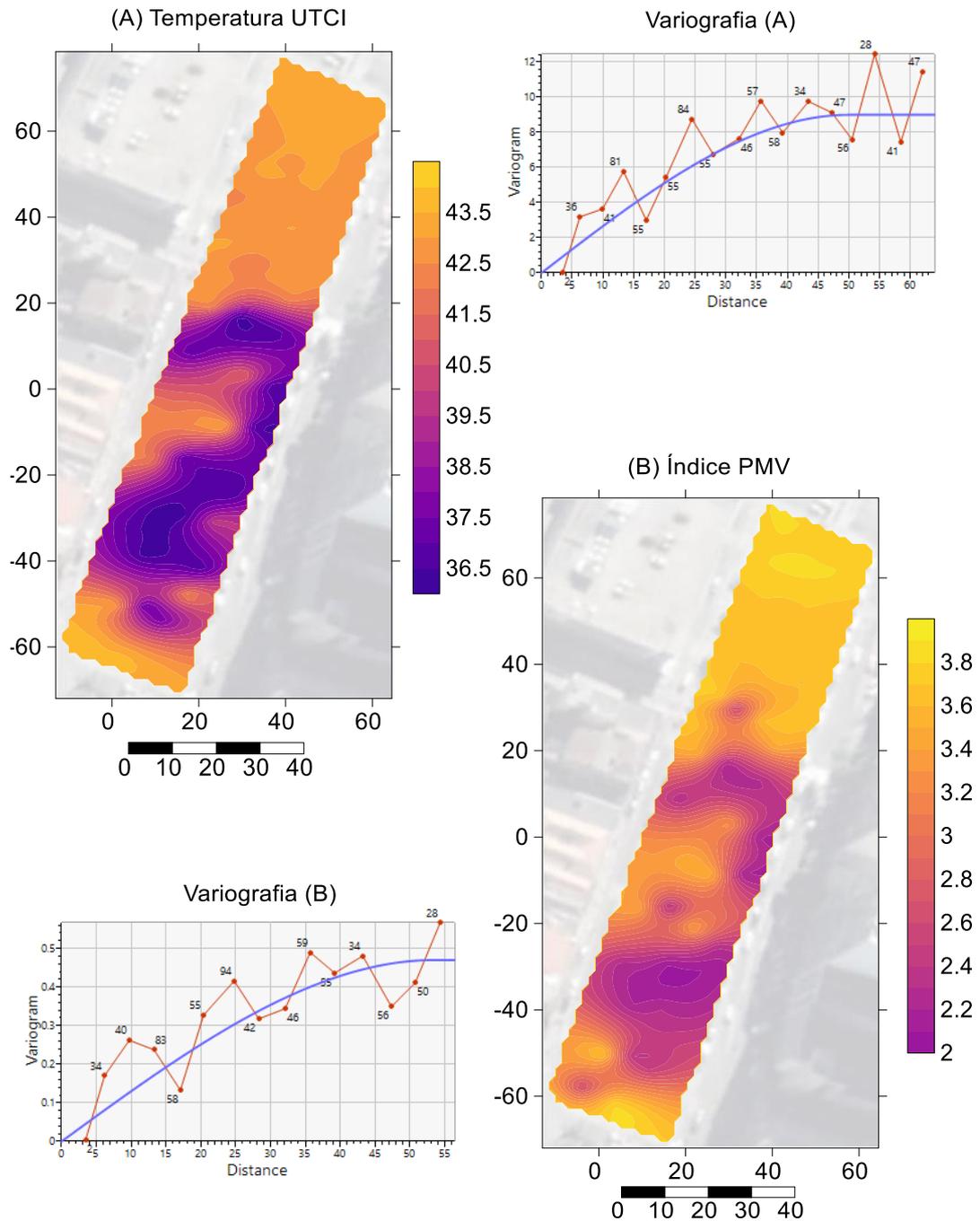


Figura 32. Reconstituição da variabilidade espacial instantânea de UTCI (*Universal Temperature Climate Index*)(a) e PMV (*Predicted Mean Vote*) (b) do cenário de simulação 3 (CS3) de arborização urbana na Praça do Santíssimo Salvador, em Campos dos Goytacazes (RJ), por simulação fotográfica por via de (a) 52 pontos (malha aleatória) em Tmrt simulada por *Solweig 1D*; Termohigrometria registrado a campo; velocidade do vento fixa a 2.0 m s^{-1} .

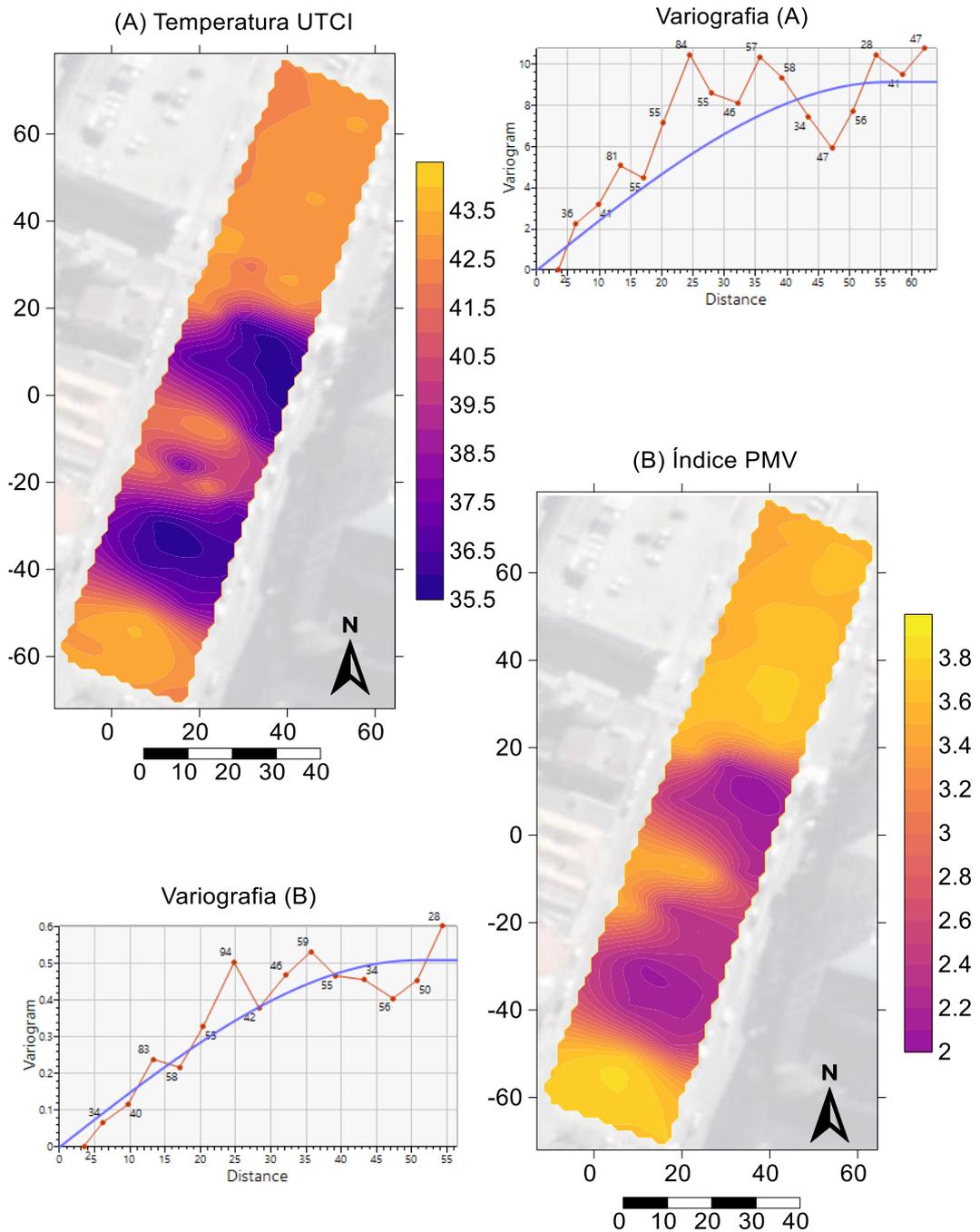


Figura 33. Reconstituição da variabilidade espacial instantânea de UTCI (*Universal Temperature Climate Index*)(a) e PMV (*Predicted Mean Vote*) (b) do cenário de simulação 4 (CS4) de arborização urbana na Praça do Santíssimo Salvador, em Campos dos Goytacazes (RJ), por simulação fotográfica por via de (a) 52 pontos (malha aleatória) em Tmrt simulada por *Solweig 1D*; Termohigrometria registrado a campo; velocidade do vento fixa a 2.0 m s^{-1} .

Os mapas mostram uma diferença máxima UTCI nesses modelos (3, 4 e 5) de 8°C. Nas ruas de Curitiba, Martini et al. (2013) observaram uma diferença de 4,5° UTCI entre as máximas de local arborizado e não arborizado.

Os resultados do índice PMV mostram que enquanto sob direta incidência de luz solar o índice variou entre 3,4 e 4 pontos, e quando a sombra ficou entre 1,9 e 2,6 (fotointerpretação) (Figuras 32, 33 e 34). O índice PMV foi originalmente planejado para ambientes internos, porém já foi bastante utilizado em ambientes externos urbanos (Hwang et al., 2010; Salata et al., 2015; Thorsson et al., 2004).

Quando Fanger (1982) modelou a equação com o voto (opinião sobre o conforto) de pessoas reais, foram fornecidas como opções sete possibilidades de voto (de -3 até +3), embora o modelo possa retornar valores superiores a -3 ou +3, estes não são modelados baseado no voto de pessoas como Fanger o fez, por questões humanitárias, mas matematicamente sim. Segundo ENVI-MET (sem data), em ambientes abertos em situações de alto estresse por calor, o modelo pode facilmente retornar superiores a +3, em que já foram registrados PMV maiores que +8 em situações extremas. Os resultados na Praça do Santíssimo Salvador mostram que a sol pleno apresentou valores superiores a +3, enquanto as manchas de arborização por sombras flutuaram um pouco abaixo de +3, embora ainda esteja numa faixa de forte desconforto térmico por calor.

Fornecer espaços públicos adequados à nossa realidade climática é fundamental para o bem-estar da população. A mortalidade em épocas de calor extremo é aumentada de forma geral. Na China, Han et al. (2017), investigando a relação de mortes não acidentais com as ondas de calor, observaram que há um significativo aumento no número de mortes nas épocas mais quentes do ano, em especial de idosos. Napoli et al. (2018), em estudo espaço-temporal em 17 países europeus, analisando a relação da UTCI com o número de mortes não acidentais, conseguiram obter uma relação positiva entre o aumento da temperatura nos últimos anos e o número de mortes não acidentais, em que o número de morte é significativamente maior quando a temperatura na escala UTCI aumenta um ponto, na maioria dos países em estudo.

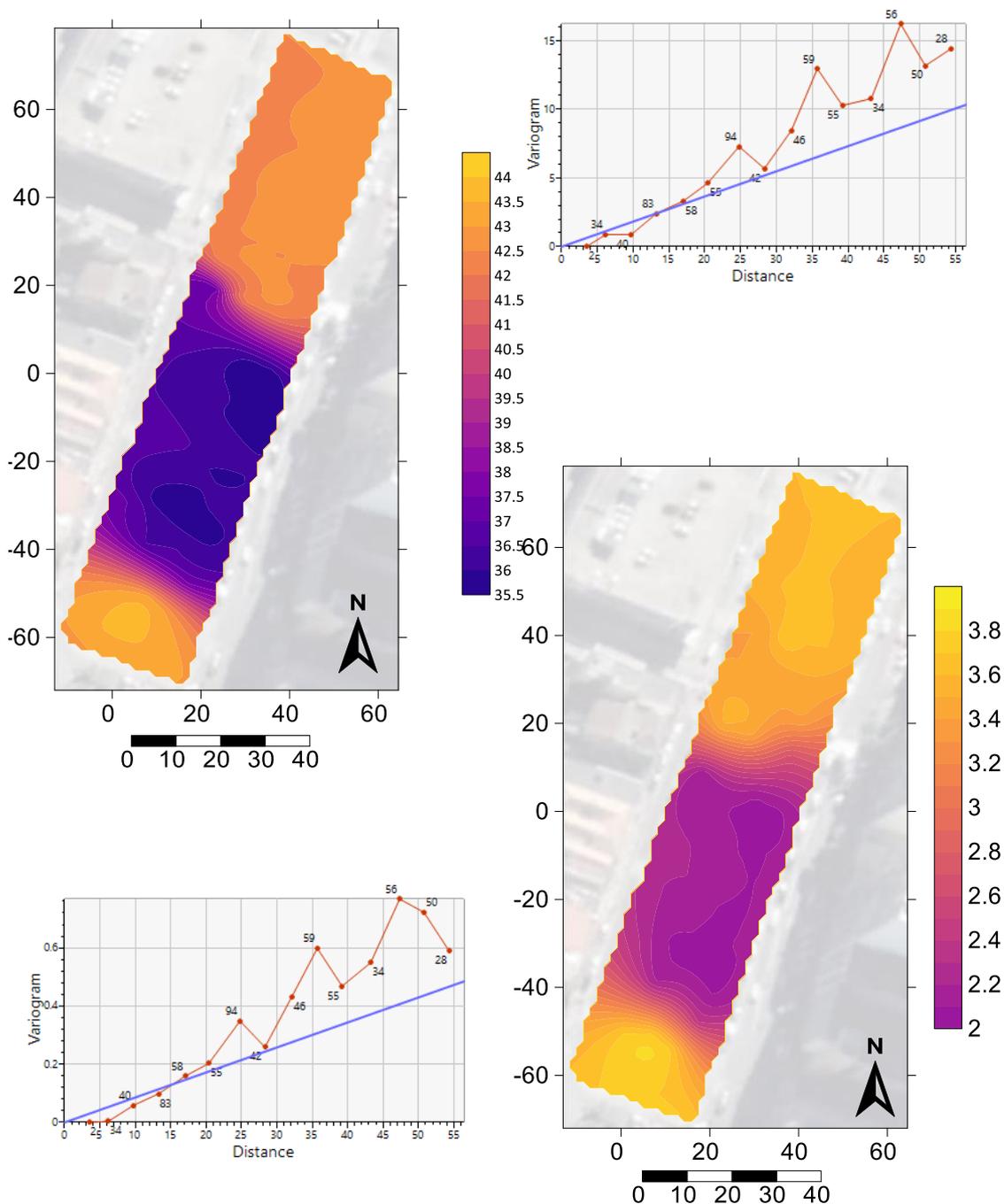


Figura 34. Reconstituição da variabilidade espacial instantânea de UTCI (*Universal Temperature Climate Index*)(a) e PMV (*Predicted Mean Vote*) (b) do cenário de simulação 5 (CS5) de arborização urbana na Praça do Santíssimo Salvador, em Campos dos Goytacazes (RJ), por simulação fotográfica por via de (a) 52 pontos (malha aleatória) em Tmrt simulada por *Solweig 1D*; Termohigrometria registrado a campo; velocidade do vento fixa a 2.0 m s^{-1} .

Há uma correlação significativa positiva entre os índices SVF e a Tmrt ($p < 0,0001$) (Figura 35). A nuvem de pontos formada indica que há uma dispersão

entre os pontos que foram processados sob a incidência direta de luz solar ou à sombra, atuando de forma aparentemente mais forte, por esse motivo, em relação ao próprio valor de SVF. Possivelmente, análises distintas para pontos que processados sob pleno sol ou à sombra poderiam representar uma correlação mais clara entre o SVF e a Tmrt. De maneira semelhante ao observado na presente pesquisa, Lyu et al. (2019) também analisando por simulação a correlação entre estas variáveis ao meio-dia do verão de Nanjing, obtiveram uma correlação linear de $r^2 = 0,35$, porém observaram $r^2 = 0,19$ em estudo na Alemanha. Ainda, Ren et al. (2014) em Hong Kong, obtiveram uma correlação linear de $r^2 = 0,29$ por leituras em campo, e de $r^2 = 0,59$ por modelo de simulação utilizando o *software Solweig* muito semelhante a este trabalho que também se utilizou do *Solweig* para simular a Tmrt. E Wang e Akbari (2015) obtiveram uma correlação linear positiva de $r^2 = 0,43$ ao meio-dia e de $r^2 = 0,69$ à 1h da manhã, simulando o benefício de diferentes configurações de plantio de árvores nas ruas de Montréal. E também Lee e Mayer (2014), no verão de Freiburg, observaram uma correlação linear positiva de $r^2 = 0,57$.

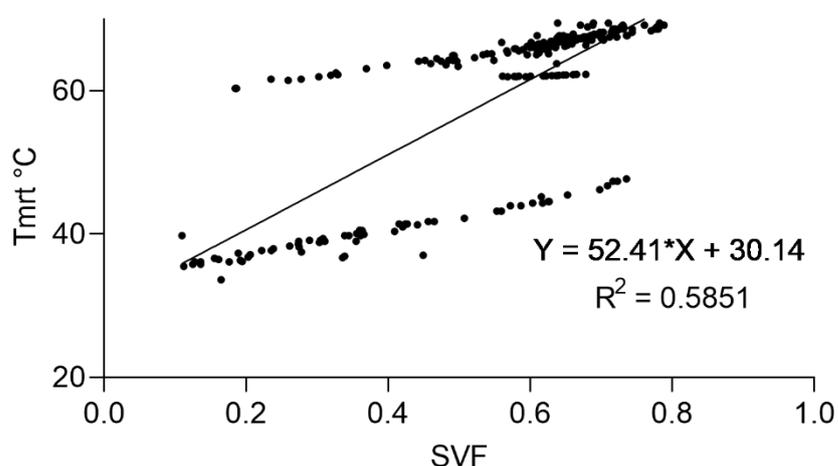


Figura 35. Análise de correlação entre *Sky View Factor* (SVF) obtidos pelos cenários de simulação e Temperatura média radiante (Tmrt) obtidos por simulação (*Solweig 1D*) na Praça do Santíssimo Salvador, em Campos dos Goytacazes (RJ).

As análises de correlação (Figura 36) entre os índices de conforto térmico e os índices SVF, como esperado devido ao comportamento da Tmrt, mostram correlações significativas e positivas entre estas variáveis, porém a forte influência

da T_{mrt} forma novamente duas nuvens de dados, bastante distintas, que correspondem aos pontos analisados sob o sol ou sob a sombra das árvores.

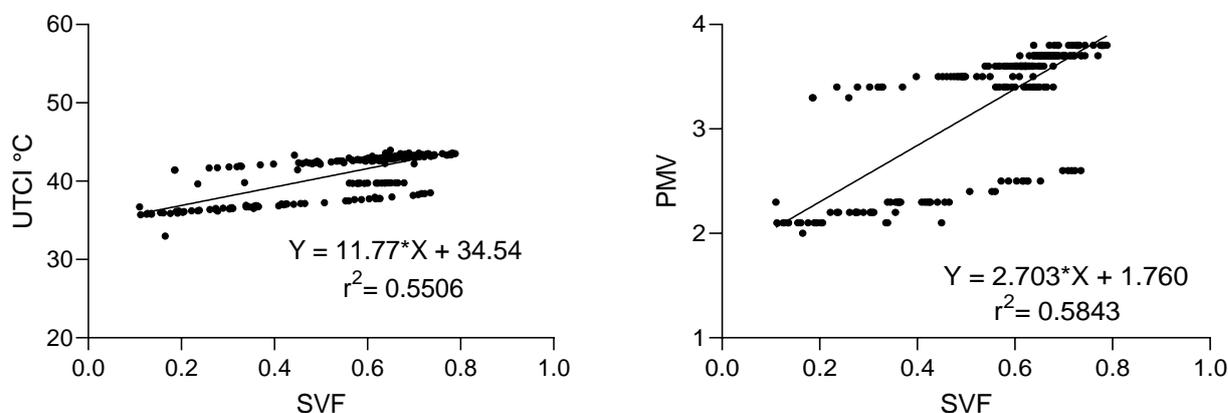


Figura 36. Análise de correlação entre UTCI (*Universal Temperature Climate Index*) e Sky View Factor (SVF) ($p < 0,0001$); e entre PMV (*Predicted Mean Vote*) e SVF, ($p < 0,0001$); obtidos pelos cenários de simulação (*Solweig 1D*) na Praça do Santíssimo Salvador, em Campos dos Goytacazes (RJ).

Segundo Lin et al. (2017), a climatologia urbana se dedica a estudar a interação entre o ambiente construído e o próprio clima urbano. No entanto, os pesquisadores que lideram as pesquisas deste importante tema para a sociedade são da área de engenharias, ciências atmosféricas, geografia etc. e, muitas vezes, os resultados não podem ser “traduzidos” em soluções para o meio urbano. Respondendo a essa demanda, o trabalho procurou mostrar como a simples adição de árvores em diferentes níveis pode beneficiar o microclima da Praça São Salvador e, no caso estudado, pela formação de sombras projetadas das árvores.

Segundo Lyu et al. (2019), a obtenção de indicadores de problemas de comportamento dos índices ambientais urbanos e aplicação de estratégias de forma a mitigar estes efeitos considerados prejudiciais, como as altas temperaturas que causam estresse às pessoas, estão se tornando cada vez mais presentes nos projetos de renovação das áreas urbanas, considerando-os essenciais para o sucesso de uma remodelação.

Os cenários de simulação 2, 3, 4 e 5 conseguiram criar áreas sombreadas com redução do UTCI de “estresse térmico muito forte por calor” para “estresse térmico forte por calor”, como já foi discutido; o efeito de sombreamento e potencial

de melhoria da percepção térmica certamente seria ampliado em outras épocas do ano de menor elevação do sol. Observa-se na variabilidade espacial do CS5 que a área em que há essa redução é bem maior quando comparada às áreas do CS3 e CS4, apesar de o CS5 ter um número de árvores menor do que o CS3 e igual ao do CS4. Isso ocorreu devido à dimensão das árvores do CS5. Por exemplo, enquanto no CS3 há 28 árvores do tipo hipotético I (área total de projeção de copas=549 m²), e o CS4 conta com 10 árvores do tipo hipotético I além de 8 árvores do tipo II (área total de projeção de copas=598 m²), o CS5 possui 805 m² de área total de projeção de copas e 18 árvores, visto que as palmeiras e árvores do setor norte foram desconsideradas no cálculo. Portanto, destaca-se que o fator mais importante é a área efetiva de sombreamento definida pelo tipo de árvore (aspectos dendrométricos).

Outra possibilidade para o *design* e planejamento seria o manejo mantendo árvores de portes variados dentro do espaço. Alturas diferentes podem cobrir mais ângulos durante o dia, aumentando a possibilidade que um determinado ponto esteja posicionado sob sombra; copas de diferentes dimensões também poderiam auxiliar na cobertura de maiores áreas com sombra.

Sendo assim, entre os cenários de simulação criados, o cenário de simulação 5 (CS5) se mostra o mais adequado, uma vez que a dimensão das árvores modeladas permite a criação de uma maior área de melhor conforto térmico e, conseqüentemente, passível da instalação de equipamentos urbanos que melhorem as possibilidades de utilização da Praça do Santíssimo Salvador, podendo-se, inclusive, utilizar o CS5 como inspiração para futuras remodelações que a praça poderá vir a sofrer.

4.2. Parte II: Comportamento em microescala do efeito de bordadura de um arvoredo: bases estáticas e variabilidade espacial de índices *Sky View Factor* e do conforto térmico.

4.2.1. Bases estáticas

Durante os ensolarados dias de verão em que as bases estáticas permaneceram instaladas, a temperatura do ar não apresentou diferença ($p = 0,7038$) na temperatura do ar a 2m de altura entre os locais em que foram instaladas

as bases, porém, assim como esperado, foi detectada diferença significativa para os quatro períodos avaliados ao longo do dia ($p < 0,0001$) (Tabela 16).

Tabela 16. Resumo da análise de variância (ANOVA) da temperatura do ar (TA) registrado em bases estáticas posicionadas em área de gramado, transição e arvoredo (a); nos períodos da madrugada, manhã, tarde e noite (b) em quatro dias do verão de Campos dos Goytacazes (RJ)

F.V ¹	G.L ²	SQ ³	QM ⁴	F ⁵	P ⁶
Área (A)	2	0,42	0,21409	0,3654 ^{NS}	0.7038
Erro A	9	5,27345	0,58594		
Parcelas	11	5,70163	-		
Período (B)	3	330,47002	110,15667	138,4717*	<,0001
Interação AxB	6	1,06734	0,17789	0,2236 ^{NS}	0,9056
Erro B	27	21,47898	0,79552		
Total	47	358,71797			

¹Fator de variação; ²Graus de liberdade; ³Soma de quadrado; ⁴Quadrado médio; ⁵Estatística do teste F; ⁶Valor p; *Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ^{NS}Não significativo.

O período em que foram registradas as temperaturas médias mais baixas corresponde ao período da madrugada, seguido da noite, enquanto os períodos mais quentes correspondem à tarde e à manhã, respectivamente (Tabela 17).

Tabela 17. Médias da temperatura do ar (TA) registradas em bases estáticas posicionadas em área de gramado, transição e arvoredo (a); nos períodos da madrugada, manhã, tarde e noite (b) em quatro dias do verão de Campos dos Goytacazes (RJ).

Área	Período do dia				Média A
	Madrugada	Manhã	Tarde	Noite	
Gramado	25,66	28,58	32,60	27,10	28,49
Transição	25,66	28,15	32,37	27,19	28,35
Arvoredo	25,59	28,58	33,05	27,07	28,58
Média B	25,64d	28,44b	32,68 ^a	27,12c	

Médias seguidas de letras diferentes são estatisticamente diferentes ao nível 5% de probabilidade pelo teste Tukey; Letras minúsculas comparam período do dia; Letras maiúsculas comparam vegetação.

Estudos evidenciam que as árvores urbanas contribuem positivamente no microclima urbano minimizando o efeito conhecido como UHI, que são as ilhas de calor urbanas, como mostrado nos trabalhos de Solecki et al. (2005), Doick et al. (2014), Ballinas e Barradas (2016) e muitos outros. Porém, muitas vezes é desconsiderado o fato de que o aumento da temperatura nas UHI é um fenômeno observável numa escala bastante ampla, como, por exemplo, numa cidade inteira comparada a uma zona rural vizinha; além disso, é passível de observação e registro no período noturno. Segundo Martin-vide et al. (2015), a detecção das UHI envolve quantificar a intensidade da temperatura no período noturno.

Quando se está ao sol pleno e migra-se para a sombra, nota-se uma abrupta mudança de percepção térmica, o que nos leva a crer que houve uma mudança abrupta da temperatura do ar, porém é pouco razoável acreditar que o ambiente urbano possua gradientes de mudanças na temperatura do ar tão abruptas. Mersereau (2016) afirma que esse pensamento de associar de forma isolada o nosso conforto (ou desconforto) térmico à temperatura do ar trata-se de um mal entendido, uma vez que pela própria definição de temperatura do ar, ela não poderia ser utilizada como parâmetro, visto que é sempre mensurada ao abrigo direto da radiação solar.

Neste sentido, podemos dizer que literalmente não existe temperatura registrada ao sol pleno ou à sombra, mas sim locais que podem estar ao sol pleno ou à sombra no momento do registro. Para sair desse paradoxo, nos locais ao sol pleno deve-se garantir que o sensor de temperatura não esteja sendo influenciado pela radiação solar, para fins de se obter leituras que correspondam à realidade. Embora pareça distante do senso comum, a obtenção de diferenças não significativas entres os ambientes estudados não chega a ser uma surpresa: Shashua-bar et al. (2010), no árido clima de Israel estudando diferentes configurações paisagísticas/urbanísticas (SVF=0,620; 0,370; 0,290 e 0) com o objetivo de entender o efeito na melhoria do conforto térmico, chegaram à conclusão de que a diferença temperatura do ar entre as configurações estudadas foi insignificante, e que outros fatores foram responsáveis pela melhoria dos índices de conforto térmico.

Um dos mais importantes, podendo-se considerar indispensável, atributos, quando se fala em construção de índices de percepção térmica, é a umidade relativa do ar (UR%). Foi registrada uma interação significativa entre as áreas e os

períodos do dia (Tabela 18). A maior média de UR% foi registrada no arvoredo no período da madrugada (97,09%), enquanto a menor média de UR% registrada ocorreu no período tarde na área de transição (64,39%), embora não difira estatisticamente da área do gramado (67,00%) (Tabela 19).

Tabela 18. Resumo da análise de variância (ANOVA) da umidade relativa do ar (UR%) registrados em bases estáticas posicionadas em área de gramado, transição e arvoredo (a); nos períodos da madrugada, manhã, tarde e noite (b) em quatro dias do verão de Campos dos Goytacazes (RJ)

F.V ¹	G.L ²	SQ ³	QM ⁴	F ⁵	P ⁶
Área (A)	2	834,39261	417,19630	91,6*	<,0001
Erro A	9	40,98824	4,55425		
Parcelas	11	875,38084	-		
Período (B)	3	3603,35052	1201,11684	111,6513*	<,0001
Interação AxB	6	186,39350	31,06558	2,8877*	0,0263
Erro B	27	290,45916	10,75775		
Total	47	4955,58402			

¹Fator de variação; ²Graus de liberdade; ³Soma de quadrado; ⁴Quadrado médio; ⁵Estatística do teste F; ⁶Valor p; *Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ^{NS}Não significativo.

Tabela 19. Médias da umidade relativa do ar (UR%) registradas em bases estáticas posicionadas em área de gramado, transição e arvoredo (a); nos períodos da madrugada, manhã, tarde e noite (b) em quatro dias do verão de Campos dos Goytacazes (RJ)

Área	Período do dia			
	Madrugada	Manhã	Tarde	Noite
Gramado	82.74 bA	76.40 bA	67.00 abB	79.95 bA
Transição	92.37 aA	81.05 bB	64.39 bC	87.05 aAB
Arvoredo	97.09 aA	86.47 aB	71.52 aC	91.83 aAB

Médias seguidas de letras diferentes são estatisticamente diferentes ao nível 5% de probabilidade pelo teste Tukey; Letras minúsculas comparam período do dia; Letras maiúsculas comparam vegetação.

Uma vez que não há diferenças significativas ($p > 0,05$) entre as temperaturas do ar dos locais onde as bases foram instaladas, independentemente do período do dia nos dias avaliados, o que provavelmente ocorreu foi uma variação da quantidade efetiva de água no ar, e não mudança de fato da capacidade de saturação mediada por mudanças na temperatura do ar. No período da

madrugada, o teor de água no ar sob o arvoredo foi em média 20,11 g kg⁻¹, enquanto no mesmo período na área do gramado foi de 17,09 g kg⁻¹. Nos períodos da manhã e tarde na área do arvoredo, os teores de água no ar foram 21,58 g kg⁻¹ e 23,59 g kg⁻¹, respectivamente; enquanto no gramado nos mesmos períodos, eram de 19,07 g kg⁻¹ e 21,48 g kg⁻¹, respectivamente. À noite, 20,86 g kg⁻¹ no arvoredo e 18,19 g kg⁻¹ no gramado. A área de transição apresentou teores intermediários de água no ar, com exceção do período da tarde no qual a área de transição apresentou teor de água no ar igual a 20,35 g kg⁻¹, enquanto havia 21,48 g kg⁻¹ na área do gramado.

A elevação da umidade do ar sob arvoredos ou até mesmo sob árvores isoladas na paisagem, já foi amplamente documentado na literatura: Souch e Souch (1993) observaram um aumento da umidade relativa do ar sob a copa de três espécies diferentes de árvores (*Acer saccharum*, *Juglans cinera* e *Quercus palustris*) em Indiana, observaram que na projeção da copa das árvores ao meio dia e ao entardecer foram superiores em 27% e 33%, respectivamente, quando comparados a um espaço aberto próximo. Esse trabalho também apresentou maior diferença entre o arvoredo e o gramado no período noturno em relação à tarde, porém mais modesta, de 11,88%.

A umidade relativa do ar superior encontrada na área do arvoredo (Tabela 19) pode ter várias origens/razões. Uma delas é que, comparadas aos gramados, as árvores projetam sombras sobre o solo reduzindo a sua temperatura e, conseqüentemente, reduzindo a perda de água por evaporação. Além disso, a queda das folhas formam uma espécie de *mulching* que ajuda a manter a umidade por muito mais tempo no solo, e as árvores, com amplo sistema radicular, transpiram por mais tempo ao longo do dia jogando água para a atmosfera contribuindo com a UR%.

Foi registrada uma interação significativa ($p < 0,0001$) da Tmrt entre as áreas e os períodos de avaliação (Tabela 20). Enquanto nos períodos de incidência de luz solar o arvoredo não permite picos de Tmrt que foram registrados na área do gramado; nos períodos noturnos, o gramado apresentou os menores valores de Tmrt (Tabela 21).

Tabela 20. Resumo da análise de variância (ANOVA) da temperatura média radiante (T_{mrt}) registrados em bases estáticas posicionadas em área de gramado, transição e arvoredo (a); nos períodos da madrugada, manhã, tarde, e noite (b) em quatro dias do verão de Campos dos Goytacazes (RJ).

F.V ¹	G.L ²	SQ ³	QM ⁴	F ⁵	P ⁶
Área (A)	2	1346,557	673.278	930.999**	<0,0001
Erro A	9	6,508	0,723		
Parcelas	11	1353,066			
Período (B)	3	9147,862	3049.287	3999,916**	<0,0001
Interação AxB	6	4451,437	741.906	973,1988**	<0,0001
Erro B	27	20.58312	0.762		
Total	47	14972,94			

¹Fator de variação; ²Graus de liberdade; ³Soma de quadrado; ⁴Quadrado médio; ⁵Estatística do teste F; ⁶Valor p; *Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 21. Médias da temperatura média radiante (T_{mrt}) registradas em bases estáticas posicionadas em área de gramado, transição e arvoredo (a) nos períodos da madrugada, manhã, tarde e noite (b) em quatro dias do verão de Campos dos Goytacazes (RJ).

Área	Período do dia			
	Madrugada	Manhã	Tarde	Noite
Gramado	18,31 cC	62,52 aB	67,92 aA	19,78 cC
Transição	21,85 bC	31,54 bB	64,91 bA	23,40 bC
Bosque	25,95 aC	29,03 cB	34,23 cA	27,50 aBC

Médias seguidas de letras diferentes são estatisticamente diferentes ao nível 5% de probabilidade pelo teste Tukey; Letras minúsculas comparam período do dia; Letras maiúsculas comparam vegetação.

Esses resultados chamam atenção, primeiramente, pelo fato de as temperaturas do ar (Tabela 16) só terem diferido significativamente entre si em função do período do dia. Por exemplo, no período da manhã enquanto a diferença (não significativa) entre as médias de temperatura na área do gramado e do arvoredo variou apenas alguns poucos décimos de graus Célsius, as T_{mrt} da mesma área no mesmo período do dia, apresentam uma diferença significativa que chega a mais de 33,5°C. Esses resultados podem ser explicados pelos relatos de Mayer e Höpfe (1987) que observaram em estudo sobre o microclima urbano que as T_{mrt} de locais sombreados e expostos ao sol, mesmo nas primeiras horas da manhã, podem apresentar diferenças entre si superiores a 30°C, embora a

temperatura do ar apresente uma diferença que não chega a 3% da T_{mrt} . Isso reforça que a T_{mrt} é uma variável que pode apresentar uma grande variabilidade espacial em curtas distâncias e, quando comparada às outras variáveis climatológicas, necessita de uma resolução maior para sua correta observação espacial. Segundo Yang e Chen (2019), essa alta variabilidade a curtas distâncias da T_{mrt} no meio ambiente urbano é ocasionado principalmente pelo efeito de sombreamento das árvores e edifícios e os diferentes tipos e distâncias de superfícies específicas.

Outro aspecto interessante foi a área do arvoredo apresentar uma T_{mrt} significativamente superior no período noturno (madrugada e noite). Matzarakis et al. (1999), estudando os diversos atributos que constroem a PET (um índice de conforto térmico) sob copas de árvores e em campo aberto, em época de verão no distrito de Mooswald em Freiburg, também perceberam que a T_{mrt} no período noturno foi superior sob a copa das árvores. No local em que foi realizado o experimento desses autores tal ocorrência é interessante.

Na presente pesquisa, uma maior T_{mrt} nos períodos noturnos acaba por elevar a UTCI, porém deve-se também atribuir a contribuição nesse aumento à elevada umidade noturna encontrada no arvoredo.

A observação de uma T_{mrt} mais alta na área do arvoredo nos períodos noturnos é explicada em função da radiação adicional de ondas longas impedida de sair livremente da área do arvoredo, pois há o bloqueio ocasionado pelas copas das próprias árvores, ao passo que na área de campo aberto essa radiação adicional não existe: Segundo Souch e Souch (1993), esse aquecimento por debaixo da copa das árvores é devido à redução de SVF nessa região causado pelas árvores, uma vez que a radiação de ondas longas emitida pelo solo em direção à copa das árvores é refletida, absorvida e reemitida de volta na direção do solo, o que acaba por criar um microclima sob as copas, refletindo no conforto térmico noturno.

As UTCI, assim como a UR% e a T_{mrt} , mostram uma interação significativa entre os fatores de variação estudados (Tabela 22). A escala de classificação não acompanhou (Figura 37) a separação das médias pelo teste de Tukey (5%) apenas no período da madrugada e noite (Tabela 23).

Tabela 22. Resumo da análise de variância (ANOVA) da *Universal Temperature Climate Index* (UTCI) registrado em bases estáticas posicionadas em área de gramado, transição e arvoredo (a); nos períodos da madrugada, manhã, tarde e noite (b) em quatro dias do verão de Campos dos Goytacazes (RJ)

F.V ¹	G.L ²	SQ ³	QM ⁴	F ⁵	P ⁶
Área (A)	2	20,588	10,294	13,622**	<0,0001
Erro A	9	6,801	0,755		
Parcelas	11	27,390			
Período (B)	3	1323,611	441,203	387.855**	<0,0001
Interação AxB	6	223,824	37,304	32,793**	<0,0001
Erro B	27	30,71	1,137		
Total	47	1605,540			

¹Fator de variação; ²Graus de liberdade; ³Soma de quadrado; ⁴Quadrado médio; ⁵Estatística do teste F; ⁶Valor p; *Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ^{NS}Não significativo.

Tabela 23. Médias da *Universal Temperature Climate Index* (UTCI) registradas em bases estáticas posicionadas em área de gramado, transição e arvoredo (a); nos períodos da madrugada, manhã, tarde (b), e noite em quatro dias do verão de Campos dos Goytacazes (RJ)

Área	Período do dia			
	Madrugada	Manhã	Tarde	Noite
Gramado	23,90 bC	36,76 aB	41,57 aA	25,80 bC
Transição	25,75 aC	29,62 bB	40,35 aA	27,52 abC
Arvoredo	27,17 aC	30,27 bB	35,60 bA	28,87 abC

Médias seguidas de letras diferentes são estatisticamente diferentes ao nível 5% de probabilidade pelo teste Tukey; Letras minúsculas comparam período do dia; Letras maiúsculas comparam vegetação. Velocidade do vento: madrugada e noite = 2,0m/s, manhã e tarde 2,1m/s.

No período da madrugada observa-se que, embora não exista uma diferença significativa entre a área de transição e o arvoredo (Tabela 23) é uma diferença que faz com que a área do arvoredo esteja um (1) nível superior na escala UTCI (Figura 37): as áreas de gramado e transição estão classificadas dentro da faixa “sem estresse térmico”, enquanto o arvoredo está na faixa de “estresse térmico por calor moderado”. Esse fenômeno ocorre devido à T_{mrt} ser significativamente superior na área do bosque no período noturno, como já anteriormente foi discutido. Além disso, há contribuição da umidade relativa do ar que também é significativamente maior no arvoredo nos períodos noturnos. Já no

período da manhã e da tarde, a detecção de diferenças significativas pelo teste Tukey está de acordo com a separação observada na escala UTCI (Figura 37).

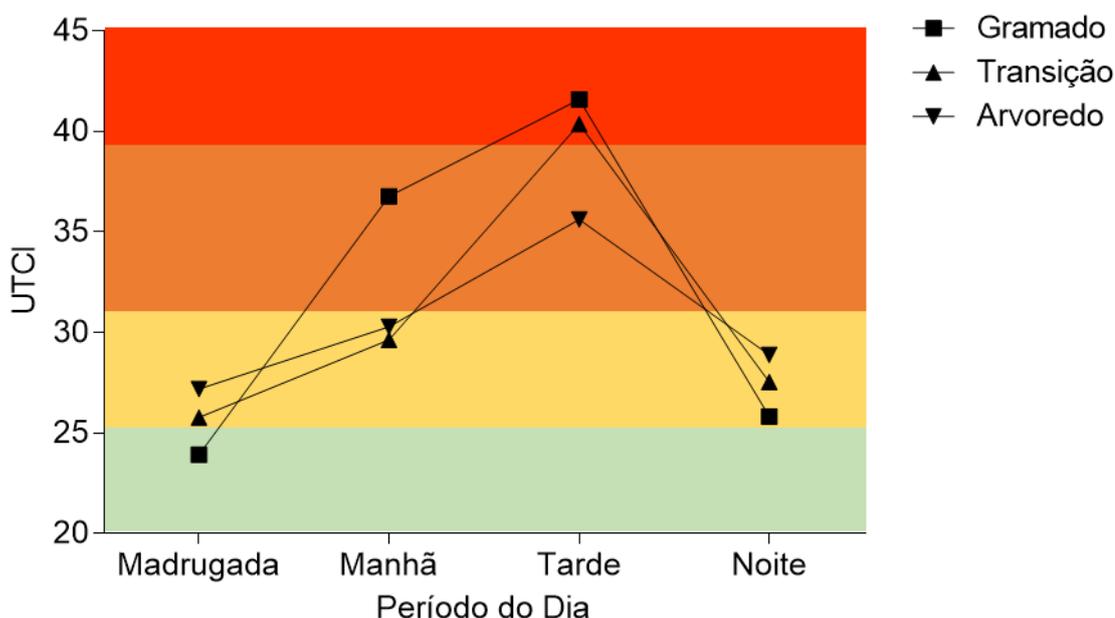


Figura 37. Classificação na escala *Universal Temperature Climate Index* (UTCI) de médias registradas em bases estáticas posicionadas em área de gramado, transição e arvoredo (A); nos períodos da madrugada (0:00-5:59 h), manhã (6:00-11:59 h), tarde (12:00-17:59 h), e noite (18:00-23:59 h) em quatro dias do verão de Campos dos Goytacazes (RJ). ■ = Sem estresse térmico (conforto térmico); ■ = Estresse térmico por calor moderado; ■ = Estresse térmico por calor forte; ■ = Estresse térmico por calor muito forte.

No período da tarde, observam-se momentos em que o UTCI se encontra na faixa classificada como “estresse muito forte por calor”, apenas um (1) nível abaixo do nível de máximo desconforto UTCI. Esses 2 locais e momentos (gramado na manhã; gramado na tarde) em que o desconforto extremo por calor é notado coincidem com picos de T_{mrt} superiores a 60°C , indicando que as bases estavam sob sol pleno nesses locais/momentos (Tabela 21). No gramado na manhã, embora também tenha ocorrido um pico da temperatura média radiante, a temperatura do ar mais baixa fez com que o UTCI fosse classificado no nível forte de estresse por calor.

Nesse sentido podemos dizer que a diferença de graus UTCI entre a área sob sol pleno e sombreado foi em média 6,5°C e 6°C UTCI nos períodos da manhã e tarde, respectivamente.

O arvoredo está inserido praticamente ocupando todo o espaço entre dois prédios e, certamente, proporciona uma vantagem microclimática aos edifícios que o rodeiam, uma vez que as árvores funcionam com um “sistema de ar condicionado” (Rowntree, 1988), impedindo as ondas de radiação solar de aquecerem as superfícies dos edifícios, melhorando a sua eficiência energética (Akbari et al., 2001). O benefício na redução de energia por seus efeitos microclimáticos já foi observado não apenas em edifícios individuais (Abdel-aziz et al., 2015), mas também para países inteiros. Segundo Nowak et al. (2017), os Estados Unidos (EUA) chegam a economizar 11,7 bilhões de dólares por ano em gastos com energia elétrica, aquecimento, e em milhares de toneladas de passivos ambientais em emissões de poluentes na atmosfera.

Principalmente por sua característica de fornecer sombra, a área do arvoredo é a mais resiliente às mudanças de conforto térmico. Isso ocorre, pois a vegetação certamente funciona como um efeito tampão, reduzindo a amplitude de variação de tal forma que não foi observado em nenhum momento do dia desconforto tão extremo como ocorreu nas áreas do gramado e de transição. Esta última, embora esteja no limite da vegetação, em certos momentos de inclinação do sol (período da tarde), perde benefício de sombreamento do local.

4.2.2. Análises espaciais de *Sky View Factor* e *Universal Temperature Climate Index*.

As variabilidades espaciais dos índices SVF e da temperatura UTCI foram reconstituídas com excelente performance, em que todas as análises apresentaram coeficientes Nash-Sutcliffe superiores a 90% de performance (Tabela 24).

Os dados obtidos dos perfis longitudinais, indicam que há uma diferença significativa entre os dois diferentes métodos de aquisição dos índices SVF. Na Tabela 24, em que é mostrada a significância ($p < 0,0001$), mostra a diferença média de 0,120 pontos de SVF.

Tabela 24. Análise da performance de predição "um-de-fora" da variabilidade espacial de índices SVF por dois métodos de obtenção e de *Universal Temperature Climate Index* (UTCi) em transição entre área aberta e um arvoredo em Campos dos Goytacazes (RJ)

Análise ¹	ME ¹	RQME ²	CPNS ³	Classificação
SVF Sensor Sony	<0,001	0.031	0.98	Muito Bom
SVF Sky Helios	<0,001	0.079	0.92	Muito Bom
Temperatura UTCi	-0,011	0.69	0.95	Muito Bom

¹Média do erro; ²Raiz quadrática média do erro; ³Coefficiente de performance. Nash-Sutcliffe.

Tabela 25. Comparação de índices *Sky View Factor* (SVF) por teste t pareado, obtidos por diferentes métodos (fotográfico ou cenário digital) em transição entre área aberta e um arvoredo em Campos dos Goytacazes (RJ)

Teste	n ¹	Média ²	DP ²	Teste t	P valor ⁴
Fotografias x Sky Helios	202	0,12	0,05	32,43*	<0,0001

¹Número de termos; ²Média da diferença; ³Desvio padrão da diferença; ⁴Dois caudas; *Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

A diferença significativa detectada pelo teste t pareado fica evidente ao analisar o perfil gerado pelos dois métodos (Figura 38).

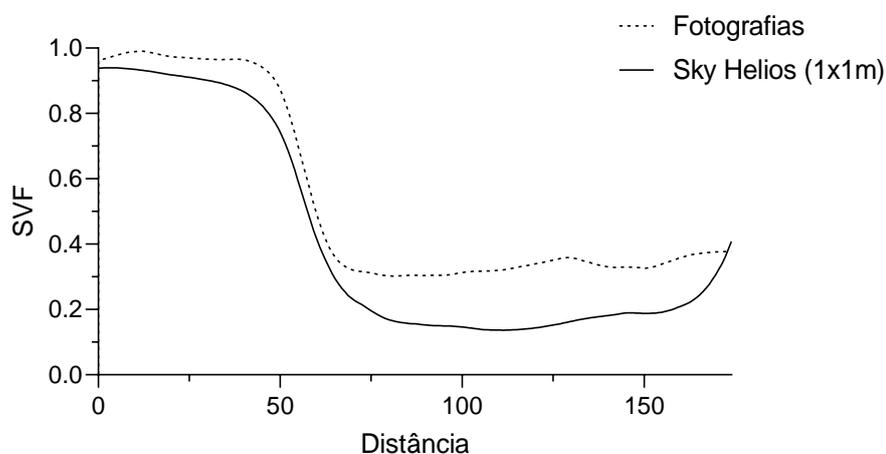


Figura 38. Perfis de elevação de *Sky View Factor* (SVF) obtidos por diferentes métodos (fotográfico ou cenário digital) em transição entre área aberta e um arvoredo em Campos dos Goytacazes (RJ).

Observa-se que durante toda a distância do perfil (Figura 38) o método fotográfico apresenta índices maiores: na região inicial que corresponde à área de gramado, isso ocorre porque a câmera capta em um ângulo de 120° , enquanto o *Sky Helios* obtém o valor de SVF com aberturas de ângulos superiores, e por isso acaba por reduzir ligeiramente o SVF, uma vez que intercepta objetos mais próximos ao horizonte.

Além disso, a *Erythrina velutina*, espécie na qual é formado o arvoredado, possui o comportamento decíduo (Carvalho, 2008), levando em consideração o mês do ano, as árvores já estavam em um estágio fenológico em que já havia a queda de folhas, aumentando ainda mais a diferença quando comparado com o modelo digital. A Figura 39 mostra pontos relativamente próximos uns aos outros.

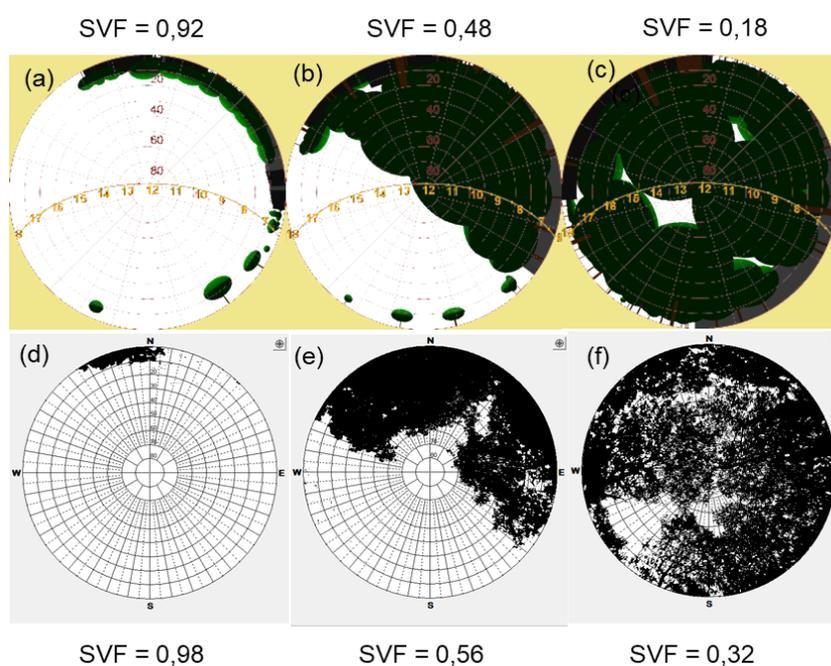


Figura 39. Comparação de pontos próximos de *Sky View Factor* (SVF) por modelo digital (1) e fotográfico (2), nas diferentes áreas: gramado – a, d; transição – b, e; arvoredado – c, f.

Gál et al. (2007), comparando a obtenção de SVF por modelo digital de elevação e por fotografias, também observaram diferenças entre os métodos e que,

assim como neste trabalho, as diferenças foram maximizadas em regiões com maior índice de vegetação.

O método fotográfico capta a imagem da copa das árvores registrando os espaços livres existentes entre as folhas da copa das árvores, através dos quais passa a luz e por onde é possível a visão de partes do céu, mesmo que bem pequenas; isso fez com que índices SVF fossem superiores pelo método fotográfico (Figura 39).

Os perfis também apresentaram diferenças na transição (Figura 38). Os SVF obtidos pelo *Sky Helios* iniciam a queda de SVF para entrada no arvoredo antes e se estabilizam depois, quando comparados aos SVF obtidos por fotografia, indicando uma transição menos abrupta. Isso ocorre provavelmente por causa das diferenças de ângulo de abertura da lente *fisheye*.

Na Figura 40 são expostas as variabilidades espaciais de índices SVF pelos dois métodos estudados e, embora de maneira geral apresentem-se bastante semelhantes, têm sutis diferenças. As principais diferenças observadas estão relacionadas à mudança de padrão dos métodos em relação às áreas avaliadas, já anteriormente discutida (Figura 38) nos perfis de SVF. Além disso, há também a redução de SVF na face leste na região entre o prédio e arvoredo que é caracterizada pela presença de um largo caminho, detectada pela análise usando o *Sky Helios*, e está principalmente relacionada à amostragem de pontos fora da área observada.

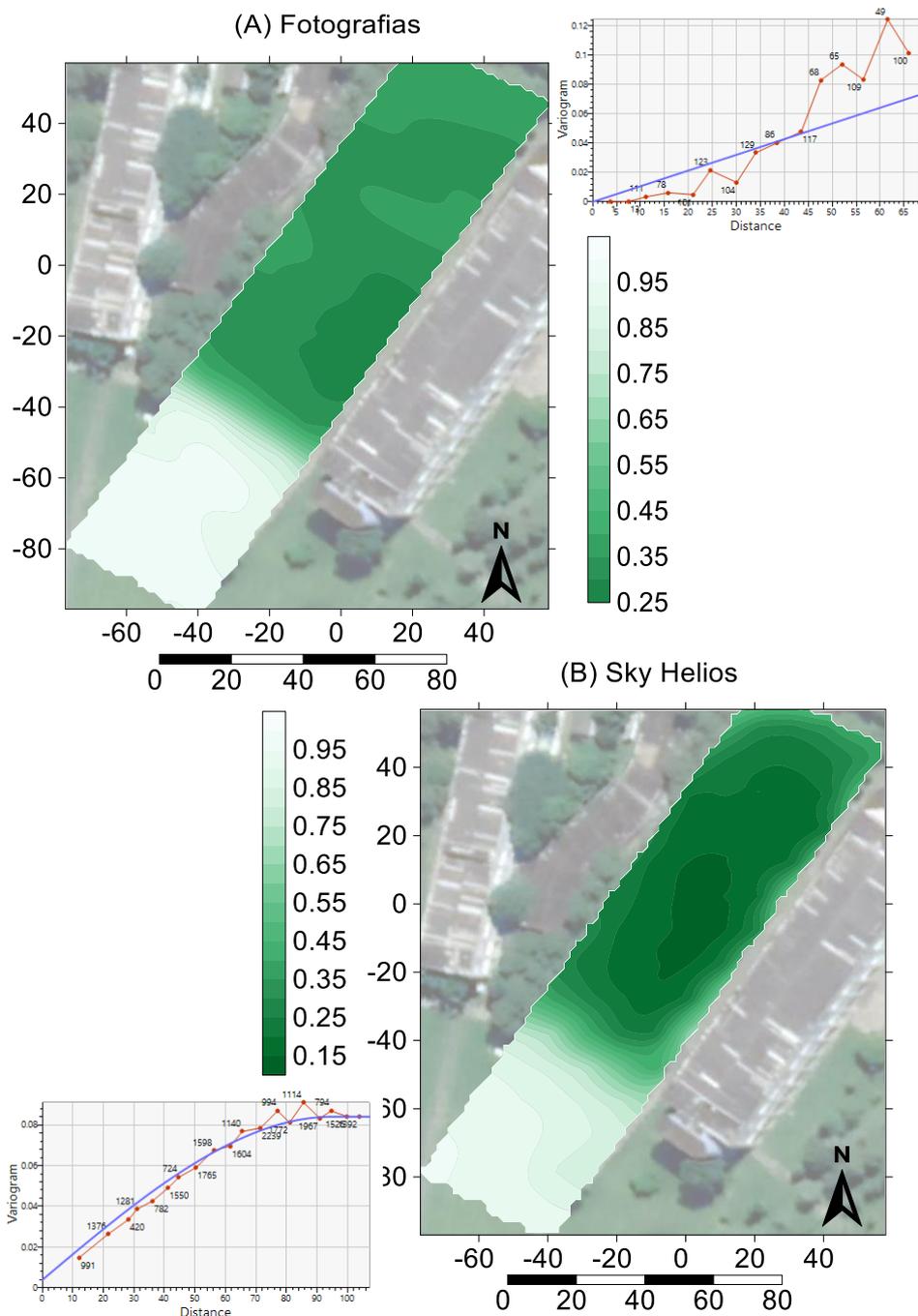


Figura 40. Variabilidade espacial de *Sky View Factor* (SVF) obtida por diferentes métodos (fotográfico ou cenário digital) em transição entre área aberta e um arvoredo em Campos dos Goytacazes (RJ).

A Figura 41 mostra uma transição abrupta de conforto térmico entre a área de gramado e do arvoredo, havendo em poucos metros uma diferença de cerca de 8 graus na escala UTCI. Martini et al. (2020) observaram no verão, em Curitiba, que as ruas arborizadas apresentavam uma diferença significativa máxima de 7,8 °C UTCI quando comparadas às ruas sem arborização. Cheung e Jim (2018), em

Hong Kong, realizando uma comparação diurna entre um local arborizado no interior de um parque urbano e uma área controle não arborizada no seu exterior, registraram uma diferença máxima de 12,3°C de UTCI.

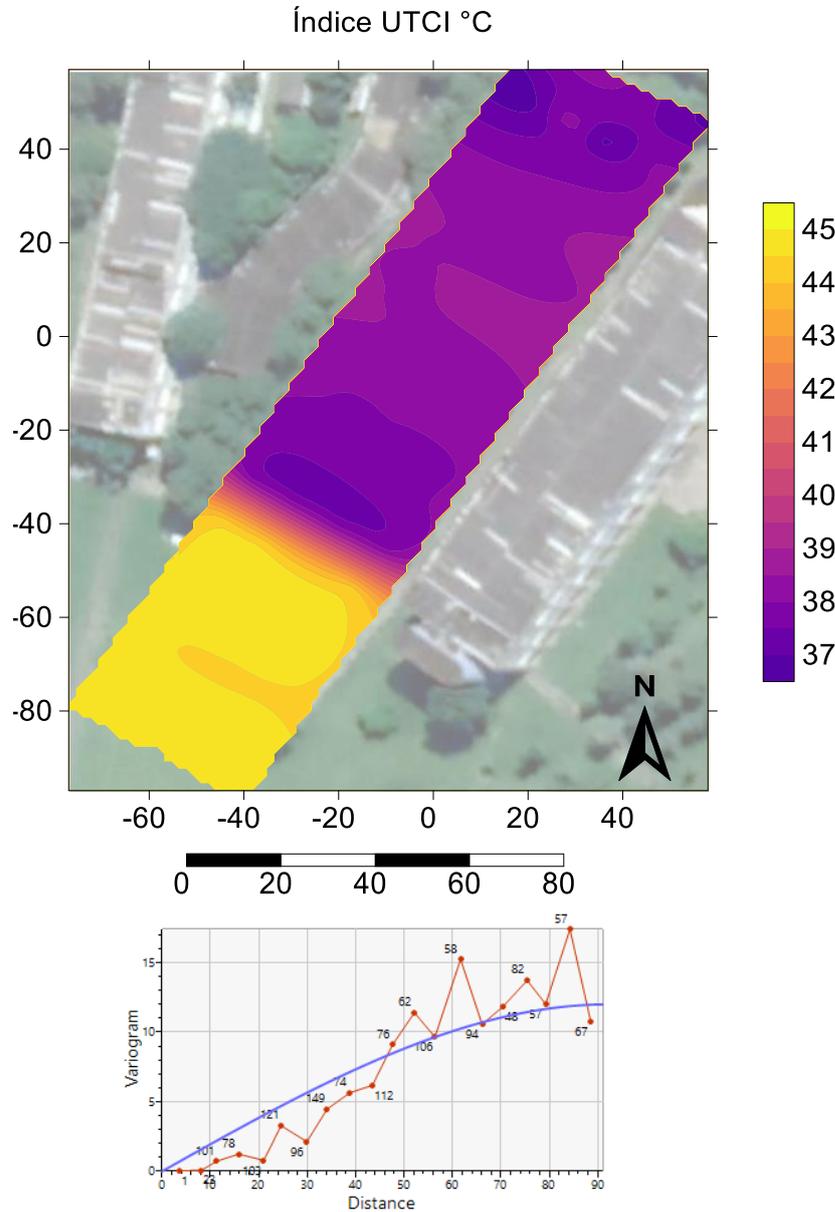


Figura 41. Variabilidade espacial da *Universal Temperature Climate Index* (UTCI) obtida em transição entre área aberta e um arvoredo em Campos dos Goytacazes (RJ). Malha fixa em 10x10m; Tmrt simulada por *Solweig 1D*; Termohigrometria registrada a campo; velocidade do vento fixa a 2.1 m s⁻¹.

Segundo Nazarian et al. (2018), a Tmrt explica e define a exposição humana frente à radiação de ondas longas e curtas do sol, do céu e das mais variadas superfícies urbanas, então naturalmente se espera que a Tmrt modifique

dramaticamente o conforto térmico humano. Os mesmos autores ainda completam que durante o dia, o fator que tem a maior capacidade de modificar a T_{mrt} são as áreas de sombra (que nesse trabalho são mensuradas por índices SVF) e também mostraram que a T_{mrt} varia de maneira abrupta espacialmente.

Sendo assim, a transição encontrada, que pode ser considerada abrupta, da temperatura UTCI, reforçada pelos resultados das análises dos dados das bases estáticas, ocorreu dessa forma pelo rápido decréscimo da T_{mrt} , efeito que aqui foi causado pela presença de árvores.

Na Figura 42, a temperatura UTCI ao término de sua abrupta queda em direção ao arvoredo atinge seu menor valor. Isso ocorre porque nessa região, que apresenta SVF um pouco maiores em relação ao restante do arvoredo, já está posicionada ao abrigo da radiação solar direta, ocorre uma leve redução da temperatura UTCI em virtude da redução da umidade relativa do ar. Uma alta umidade do ar, associada a elevadas temperaturas, contribui para a elevação do desconforto térmico, em decorrência da reduzida troca de calor entre a pele e o ambiente, visto que a quantidade de água no ar impede que exista um forte gradiente para a transferência da água.

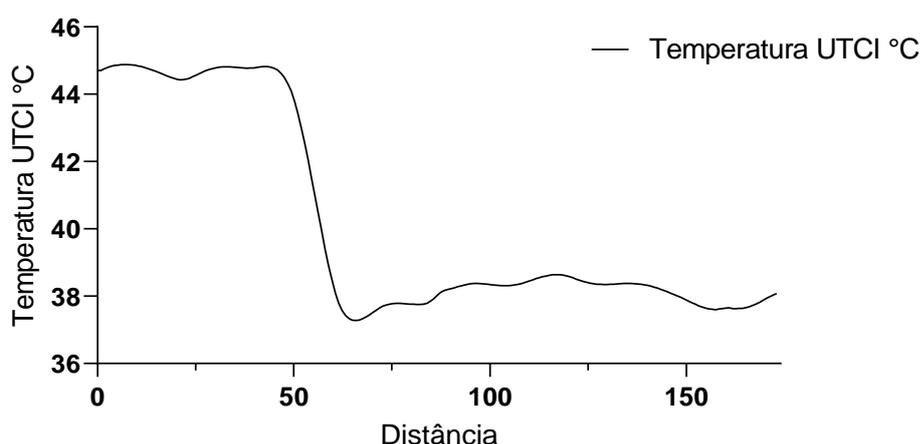


Figura 42. Perfil de elevação de *Universal Temperature Climate Index* (UTCI) obtido em transição entre área aberta e um arvoredo em Campos dos Goytacazes (RJ). Malha fixa em 10x10m; T_{mrt} simulada por *Solweig 1D*; Termohigrometria registrada a campo; velocidade do vento fixa a 2.1 m s^{-1} .

4.3. Parte III – Avaliação da continuidade espacial dos componentes da percepção térmica e da *Universal Temperature Climate Index* (UTCI) em áreas verdes de Campos dos Goytacazes, RJ.

Não foi possível estabelecer uma estrutura variográfica coerente para a temperatura do ar na maioria dos ambientes estudados conjuntamente, indicando que uma média geral dos pontos explica melhor o ambiente do que um possível modelo empírico (Tabela 26). A exceção entre as cinco análises de TA foi a análise 3 do Horto Municipal, que será discutida mais à frente. Isso mostra que apesar da temperatura contribuir para a UTCI, governando-a, a sua variação no espaço não o modifica. As diferenças espaciais dos outros componentes foram as que tiveram papel determinante nas diferenças espaciais da UTCI, notadamente, SVF e Tmrt.

Embora o coeficiente de performance Nash-Sutcliffe leve em consideração o erro entre o valor real e o interpolado, o desvio padrão dos valores conhecidos também é levado em consideração (Nash e Sutcliffe, 1970). Por exemplo, no caso de duas amostragens que possuem a mesma raiz quadrática média do erro (RQME), se um desses conjuntos de dados apresentar diferentes desvios, o que apresentar o maior desvio terá, naturalmente, uma maior performance de reconstituição (Ritter e Muñoz-carpena, 2013).

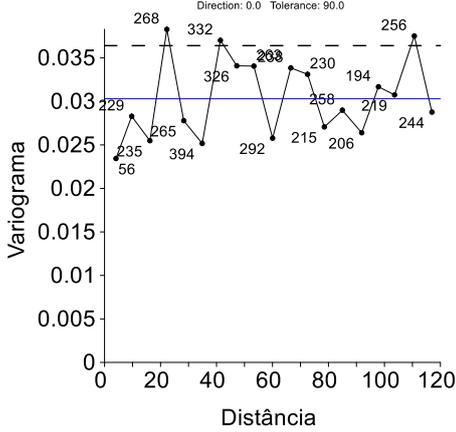
Como já foi mostrado na Parte II, em que não foram observadas diferenças significativas entre as temperaturas do ar de ambientes bastante contrastantes e que, além disso, as diferenças ainda flutuaram em valores próximos ao erro dos equipamentos de registro, conclui-se que: o tamanho da amostragem feita e o nível de precisão dos equipamentos de registro utilizados nesse estudo podem ter contribuído para que não fosse detectada continuidade espacial para a temperatura do ar. Nos variogramas (Figura 43) é possível observar que a variação da temperatura instantânea no espaço é pequena, e que para fins de cálculo de índices de percepção térmica, uma média dos pontos, ou a simples avaliação em apenas um ponto, provavelmente, seria o suficiente.

Tabela 26. *Performance* de reconstituição espacial das variáveis (temperatura do ar (TA); umidade relativa do ar (UR%); *Sky View Factor* (SVF); temperatura média radiante (Tmrt)) que compõem a percepção térmica instantânea em três diferentes áreas de Campos dos Goytacazes (RJ).

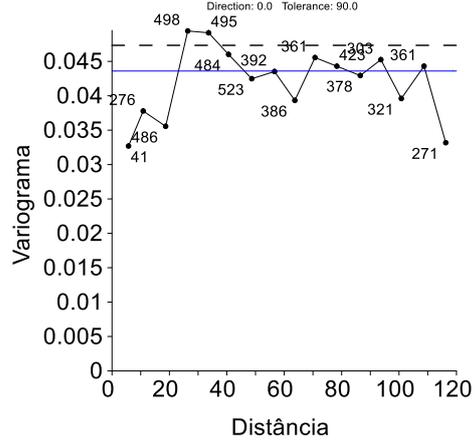
Área	Análise	Variável	DP ¹	ME ²	RQME ³	NSE ⁴	Classificação
Horto Municipal	1	TA	-	-	-	-	-
		UR%	0,87	-0,02	0,503	0,66	Aceitável
	2	TA	-	-	-	-	-
		UR%	0,97	0,01	0,233	0,94	Muito Bom
	3	TA%	-	-	-	-	-
		UR%	0,13	0,009	0,118	0,17	Inaceitável
		SVF	0,19	<0,001	0,065	0,88	Bom
		UTCI	1,89	0,007	1,301	0,53	Inaceitável
		Tmrt	6,55	0,05	4,74	0,47	Inaceitável
Jardim São Benedito	1	TA	-	-	-	-	-
		UR%	-	-	-	-	-
		SVF	0,13	<0,001	0,081	0,60	Inaceitável
		Tmrt	7,71	-0,32	5,702	0,45	Inaceitável
		UTCI	2,4	-0,224	2,14	0,20	Inaceitável
Praça do SS. Salvador	1	TA	-	-	-	-	-
		UR%	-	-	-	-	-
		Tmrt	1,29	<0,001	1,09	0,34	Inaceitável

¹Desvio padrão; ²Média do erro; ³Raiz quadrática média do erro; ⁴ Coeficiente de performance Nash-Sutcliffe; - Não foi possível modelar um variograma.

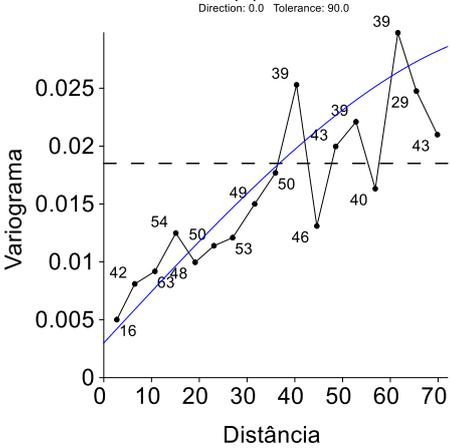
HORTO MUNICIPAL (1) - TEMPERATURA DO AR



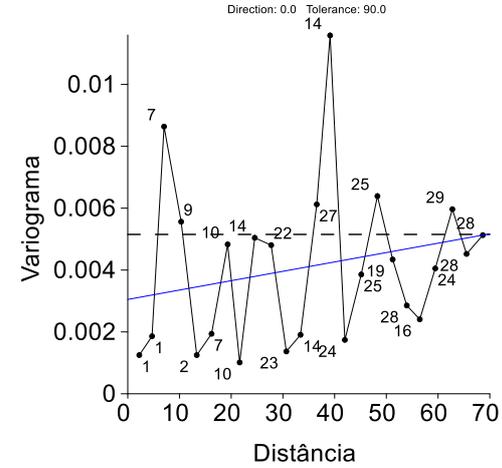
HORTO MUNICIPAL (2) - TEMPERATURA DO AR



HORTO MUNICIPAL (3) - TEMPERATURA DO AR



JARDIM SÃO BENEDITO - TEMPERATURA DO AR



PRAÇA SS. SALVADOR - TEMPERATURA DO AR

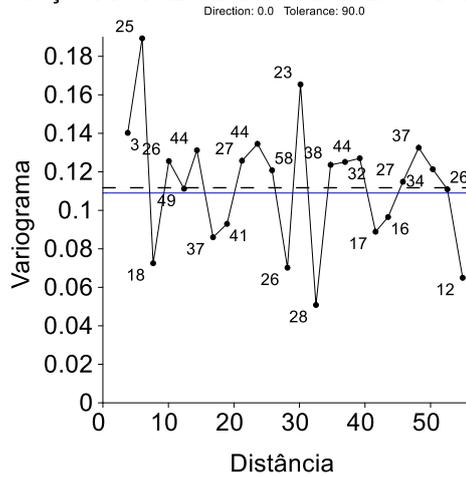


Figura 43. Variogramas de temperatura do ar em diferentes áreas verdes de Campos dos Goytacazes (RJ). Linha azul = Variância estimada pelo modelo; Linha tracejada = Variância Média; Linha conectada por pontos = Variância observada; Valores nos pontos = Número de pares interagindo.

Na Figura 43 observa-se que, embora exista uma aparente continuidade espacial da temperatura do ar (TA) na análise 3 do Horto Municipal, é provável que tal variância seja, principalmente, originada de erros amostrais, uma vez constatado o quão fixa no espaço é a temperatura do ar. Nas análises 1 e 2 da temperatura do ar do Horto Municipal (Figura 43), realizadas utilizando-se o *Hobo Pro V2* que possui sensores e método mais precisos em comparação ao THAL 300 (análise 3) ($\pm 1,2^{\circ}\text{C}$ THAL 300; $\pm 0,21^{\circ}\text{C}$ *Hobo Pro V2*; (ONSET, sem data; Instruterm, sem data), as médias das variâncias no espaço se mostram com uma flutuação mais próxima da linha de variância. Além da notável baixa variabilidade espacial da temperatura do ar no espaço, na amostragem 1 e 2 no Horto Municipal, e das amostragens no Jardim São Benedito e na Praça do Santíssimo Salvador (CS1), a análise de evolução das variâncias frente a distância mostra-se caótica, e sem uma estrutura variográfica que permita a construção de uma variância empírica, ou seja, um efeito completamente aleatório da variável estudada.

Embora estudos já tenham encontrado diferenças de temperatura no espaço entre locais arborizados e não arborizados. Essa diferença na temperatura é definida relativamente à escala em que é estudada, e pode variar de pequenos parques urbanos e curtas distâncias até cidades inteiras em comparação com sua zona rural, bem como da metodologia utilizada. Por exemplo, Petralli et al. (2009), pesquisando no verão italiano (agosto) padrões de temperatura do ar dentro do Parque de Cascine em Florença, compararam as temperaturas instantâneas em dois pontos fixos – o primeiro em uma área de árvores, e o segundo em um gramado isolado na paisagem – e observaram uma diferença de temperatura média diária de $0,2^{\circ}\text{C}$ entre os dois. Os autores ainda concluíram que em dias sem nuvens, durante a noite, madrugada e início da manhã, a área com árvores permanecia com maior temperatura, porém, durante a tarde a área com árvores apresentava menor temperatura. Sendo assim, conclui-se que o período de 11 h a 13 h é um período de transição para essa situação, praticamente não apresentando diferença de temperatura entre os pontos avaliados e que as diferenças de temperatura do ar registradas entre diferentes ambientes variaram em função do horário do dia, sendo menores exatamente nos horários de avaliação na presente pesquisa, em função da elevação do sol (inclinação) nessa época do ano e posição da cidade e da praça.

Até mesmo considerando as ilhas de calor urbanas (UHI), a diferença da temperatura do ar é menor entre a área urbana e a área rural durante o período luminoso do dia (Kershaw, 2017; Martin-vide et al., 2015). Na extensa revisão de literatura feita por Tzavali et al. (2015), verifica-se que as UHI sempre apresentam maiores diferenças entre cidade e a sua zona rural durante o período noturno. Na cidade de Pádua (Itália), Busato et al. (2014) em um estudo de três anos, encontraram uma diferença média de $0,5^{\circ}\text{C}$ entre as temperaturas registradas em uma estação meteorológica instalada no centro da cidade e outra na sua zona rural. Os autores ainda observaram que o maior efeito ocorreu entre 19h e 24h, no verão, com o registro de uma diferença de até 7°C , enquanto no período correspondente luminoso, a diferença máxima observada foi de 2°C . Da mesma forma, no verão londrino de 1999, Watkins et al. (2002) relataram que a UHI foi determinada por uma diferença de $2,5^{\circ}\text{C}$ durante a noite, e de 1°C durante o dia. Cellura et al. (2011), em Palermo, mostraram um efeito médio UHI de 3°C durante o dia, e de 2°C durante a noite. Estes resultados, embora numa dimensão bem maior do que as distâncias aqui analisadas variaram relativamente pouco no período diurno, e podem dar indicativo do por que não foi possível estabelecer variogramas da temperatura do ar pelos métodos utilizados na presente pesquisa.

Em relação ao componente UR%, já foi relatada a possibilidade do seu estudo por meio da sua variabilidade espacial em cidades. Cuadrat et al. (2015) montaram termohigrômetros na estrutura de veículos e percorreram as ruas de Zaragoza. A reconstituição espacial dos dados permitiu estabelecer correlação positiva com a vegetação, sendo inclusive passível de detecção uma correlação inversa entre os fenômenos das ilhas secas urbanas (UDI) com as ilhas de calor urbanas (UHI).

Em pequenas escalas, os fatores que modificam a distribuição espacial da UR% são mais complexos de se entender; e quando se trata da variabilidade espacial da UR% dentro de parques urbanos ainda há pouca literatura disponível para referência (Cuadrat et al., 2015).

As análises da umidade relativa do ar nas duas amostragens de maior densidade no Horto Municipal apresentaram performance superiores a 65%, sendo a análise 2 classificada como muito boa ao atingir a marca de 94% de performance. Diferentemente destas, a análise 3 do Horto Municipal, bem como as análises do Jardim São Benedito e da Praça do Santíssimo Salvador (SC1) não apresentaram

performance satisfatória, e as duas últimas não foram sequer passíveis de estabelecer uma estrutura variográfica (Figura 44). Isso pode ter ocorrido em função da baixa variabilidade espacial da variável devido à pequena extensão da área analisada, ou do erro de leitura do equipamento. Nota-se em especial no caso do Jardim São Benedito, em que praticamente não houve nenhuma variabilidade do conjunto de dados, muito menor variação contínua no espaço.

Nascimento et al. (2018), em uma área residencial de 13,20 ha em Recife, conseguiram reconstituir espacialmente UR% obtendo variogramas estáveis de umidade do ar. No estudo, os autores que analisaram 24 pontos, com 24 sensores registrando ao mesmo tempo, em dois horários (9h e 15h), conseguiram detectar dependência espacial forte da UR% no período da manhã e moderada no período da tarde, tendo atribuído essa redução do grau de dependência espacial no período da tarde à aproximação dos valores registrados nos 24 pontos.

Assim sendo, mesmo com os resultados de efeito pepita puro encontrados não devemos acreditar que não haja dependência espacial para a temperatura do ar, mas sim que esta não varia na dimensão estudada. Segundo Grekousis (2020), em uma área pequena a temperatura do ar varia muito pouco no espaço, porém em uma área maior existe uma continuidade espacial, desta forma, dentro de uma grande área em que há continuidade espacial de um fenômeno podem existir subáreas em que não exista porque a variável manteve-se estável nessa sub-região, ou porque se comportou com aleatoriedade pura.

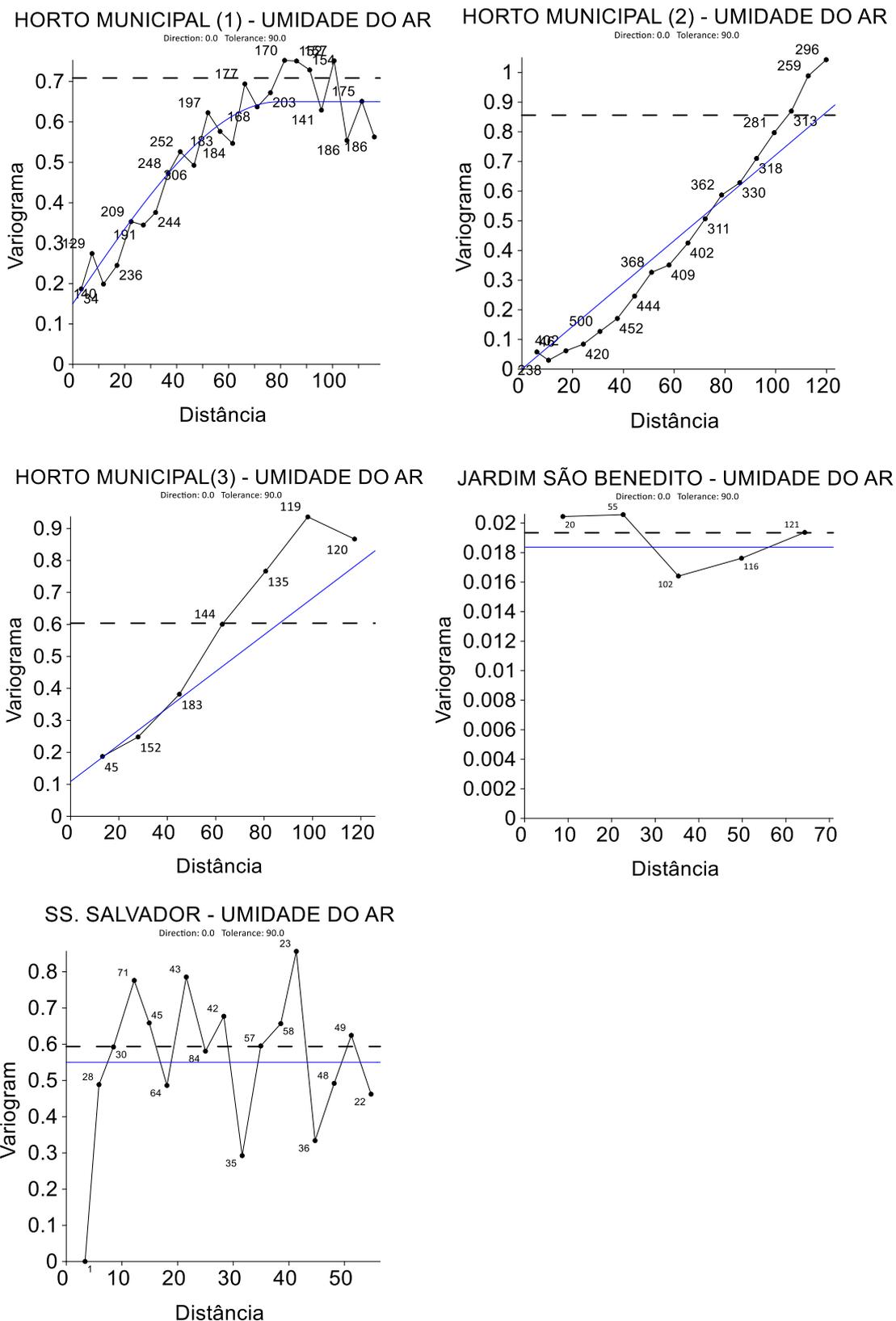


Figura 44. Variogramas de umidade relativa do ar (UR%) em diferentes áreas verdes de Campos dos Goytacazes (RJ). Linha azul = Variância estimada pelo modelo; Linha tracejada = Variância Média; Linha conectada por pontos = Variância observada; Valores nos pontos = Número de pares.

Como nos resultados da Parte 1 e da Parte 2, os índices SVF apresentaram uma consistente estrutura variográfica tanto para a análise da Praça do Santíssimo Salvador (CS1; Parte I; Tabela 9), no Horto Municipal, como para o Jardim São Benedito (Figura 45). Porém, apenas o Horto Municipal e a Praça do Santíssimo Salvador obtiveram uma performance de reconstituição espacial superior a 65%, por seus ambientes mais homogêneos (um com muito, outro com quase nada, respectivamente). O relativo grande maciço de árvores existente no Horto Municipal fez com que o modelo apresentasse uma boa performance de reconstituição (0.88). Esse efeito de performance dos maciços de árvores no Horto está relacionado à existência de grandes áreas homogêneas fazendo com que a habilidade de reconstituição do espaço seja bastante satisfatória, enquanto no Jardim São Benedito as árvores são bem mais espaçadas, e prejudica a reconstituição espacial pelos métodos estabelecidos. A análise na Praça do Santíssimo Salvador, também apresentou relativa boa performance de reconstituição (71%), também por apresentar uma característica de homogeneidade ambiental (quase sem vegetação de porte arbóreo), porém por motivo oposto ao Horto Municipal (muitas árvores).

Dessa forma, visualmente, embora o Horto Municipal e o Jardim São Benedito por possuírem, comparativamente, uma maior quantidade de vegetação arbórea e serem, de certo modo, parecidos entre si, eles são espacialmente muito diferentes. O ambiente mais complexo do Jardim São Benedito exige uma maior quantidade de pontos de controle para explicar o SVF ao nível de performance em que se reconstituiu o SVF do Horto Municipal (88%).

O efeito das áreas mais homogêneas que resulta em boa performance de reconstituição espacial também foi observado nos resultados de SVF da Parte 1 nos cenários de simulação 3, 4 e 5 (Figuras 23, 25 e 27, respectivamente). Esse efeito também é observado nas reconstituições de SVF do arvoredo da Parte 2 (Figura 40) que possuem características espaciais de SVF muito semelhantes às do Horto.

A área do Jardim São Benedito é bastante arborizada e possui diversos pequenos maciços de árvores, assemelhando-se espacialmente ao cenário de simulação 2 (CS2) criado para a Praça do Santíssimo Salvador. Observa-se que, assim como no cenário 2 (Figura 21) da Parte I, em uma curta distância dentro do Jardim São Benedito há uma forte variabilidade espacial. Isso indica que para uma

melhor reconstituição desse local também é necessária uma maior densidade de amostragem, preferencialmente realizada numa malha regular.

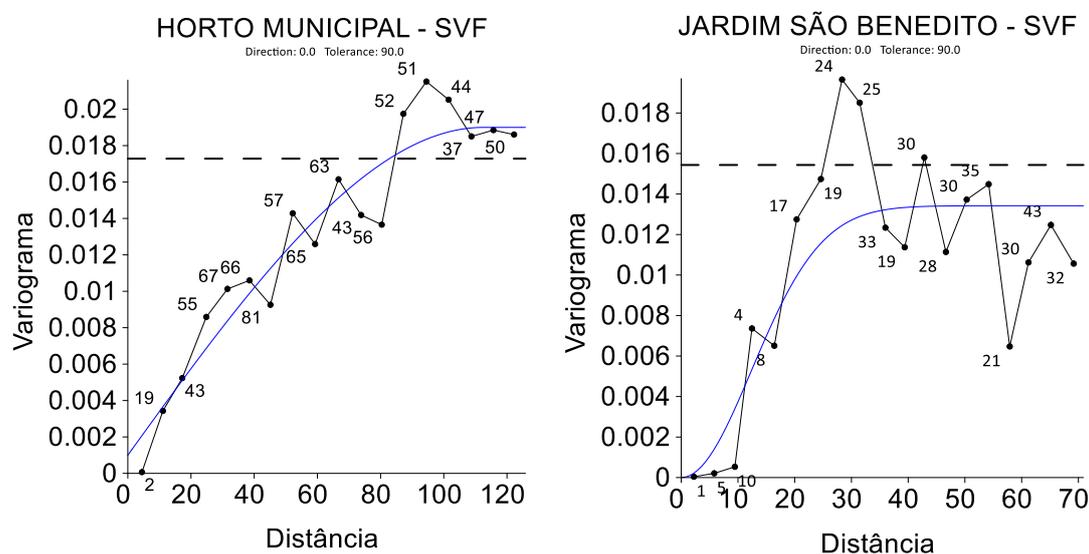


Figura 45. Variogramas de *Sky View Factor* (SVF) em diferentes áreas verdes de Campos dos Goytacazes (RJ). Linha azul = Variância estimada pelo modelo; Linha tracejada = Variância Média; Linha conectada por pontos = Variância observada; Valores nos pontos = Número de pares.

Foi discutido anteriormente (Partes I e II) que no espaço urbano em poucos metros a temperatura média radiante (T_{mrt}) pode apresentar variações extremamente abruptas, que podem ser superiores a 30°C , mesmo nas primeiras horas do dia. Essa alta variabilidade espacial faz com que a performance de reconstituição espacial seja reduzida, se não houver uma quantidade de pontos de controle que seja significativa para a variável observada.

A variabilidade espacial da T_{mrt} é fortemente influenciada pelo horário do dia, certamente com o avançar da tarde, ou pela manhã, a mesma amostragem iria apresentar uma performance de reconstituição variográfica muito maior, uma vez que as áreas homogêneas sob a projeção de sombras aumentariam à medida em que o ângulo do sol diminuísse em relação ao horizonte, deixando o ambiente com maiores áreas de homogeneidade espacial.

O desafio de reconstituir espacialmente por meio de pontos de controle, utilizando-se a geoestatística em ambientes complexos, variáveis sensíveis como a T_{mrt} é exemplificado na Figura 46. Nota-se que o ponto vermelho, embora possua o mesmo SVF na sequência de imagens, certamente possui uma T_{mrt} que

apresenta uma grande variabilidade temporal ao decorrer do dia. No período de máxima elevação do sol, o benefício de redução da T_{mrt} pela sombra das árvores está fortemente restrito à sua projeção de copa. Quando comparada à projeção de sombras às 12h30minh com os horários da manhã e da tarde, observa-se que estes possuem uma área de sombra mais ampla; assim, é provável que uma mesma amostragem nesses horários apresentasse uma performance superior. Outro efeito na sequência 3 da Figura 46, na árvore da esquerda observa-se que mesmo em sua projeção de copa há incidência direta de radiação solar. Já foi discutido na Parte 1 (item 4.1.4) que a T_{mrt} no espaço urbano possui uma abrupta variação espacial nos períodos de maior elevação do sol e que sua abrupta redução é governada pela projeção de sombras (Nazarian et al., 2018).

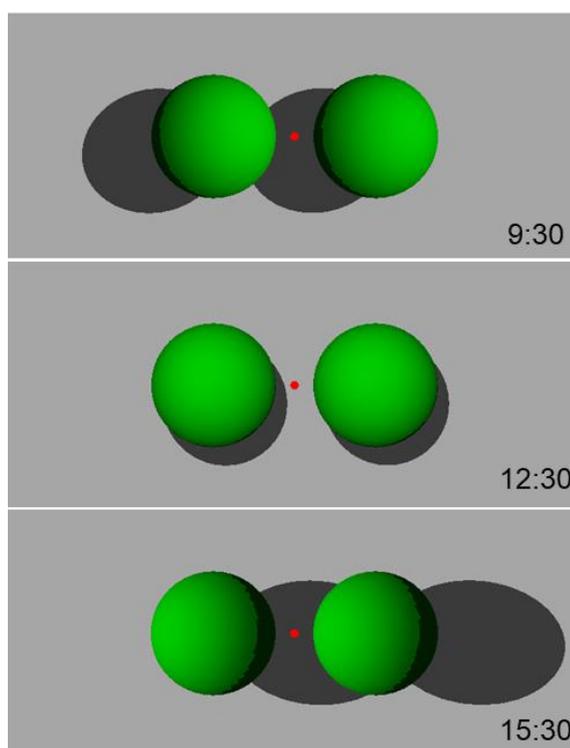


Figura 46. Representação de projeção de sombras por árvores em três horários distintos na cidade de Campos dos Goytacazes, data de referência de 25/02/2020. Elaborado pelo autor com a utilização do *software Sky Helios*.

Embora os modelos de variograma tenham apresentado performance do coeficiente Nash-Sutcliffe inferior a 65% (Tabela 26), os variogramas da T_{mrt} para

o Horto Municipal, Jardim São Benedito, e Praça do Santíssimo Salvador (CS1) apresentam estruturas variográficas consistentes (Figura 47). Nos dois primeiros mencionados, os variogramas mostram uma forte variabilidade espacial em curtas distâncias, que está diretamente relacionada a pontos que no horário analisado estavam a sol pleno ou à sombra.

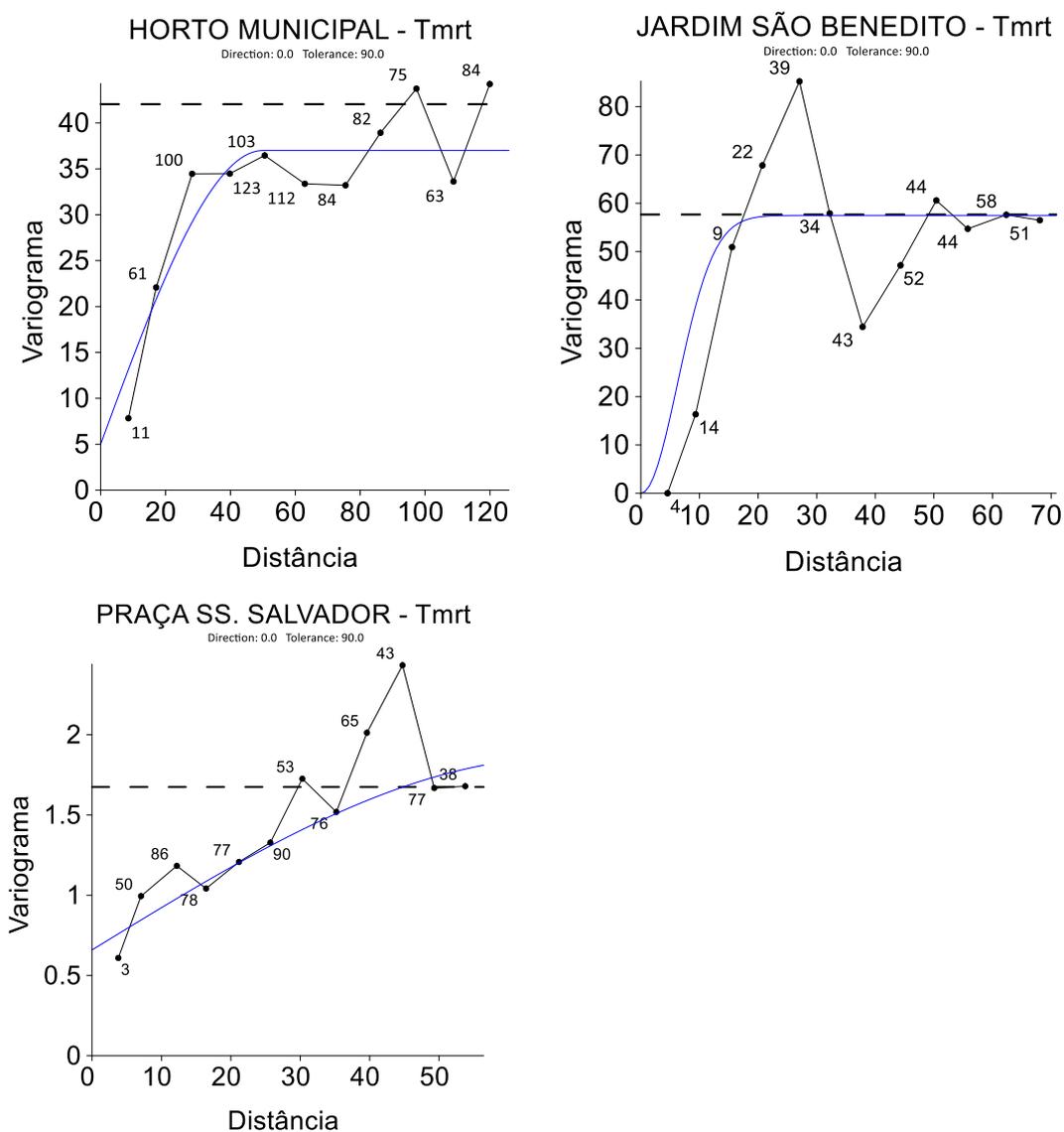


Figura 47. Variogramas da temperatura média radiante (Tmrt) em diferentes áreas verdes de Campos dos Goytacazes (RJ). Linha azul = Variância estimada pelo modelo; Linha tracejada = Variância Média; Linha conectada por pontos = Variância observada; Valores nos pontos = Número de pares.

No variograma da Tmrt na Praça do Santíssimo Salvador nota-se uma variabilidade relativamente menos intensa. Uma vez que nessa análise todos os pontos de controle estavam sob sol pleno, a variabilidade é causada principalmente pelo índice SVF e pelas diferentes distâncias das superfícies radiantes.

Sendo a principal fonte de variabilidade espacial da percepção térmica nos horários em avaliação que correspondem a altas elevações do sol, não é surpresa que a performance de reconstituição e estrutura variográfica da Tmrt se assemelham muito com os variogramas obtidos para a percepção térmica UTCI.

Enquanto as análises de UTCI do Horto Municipal apresentam uma rápida e intensa variabilidade espacial em poucos metros no espaço, a Praça do Santíssimo Salvador (CS1) apresenta uma variabilidade com crescimento menos abrupto no espaço, observa-se como a UTCI se comporta espacialmente de forma muito semelhante à Tmrt (Figura 48).

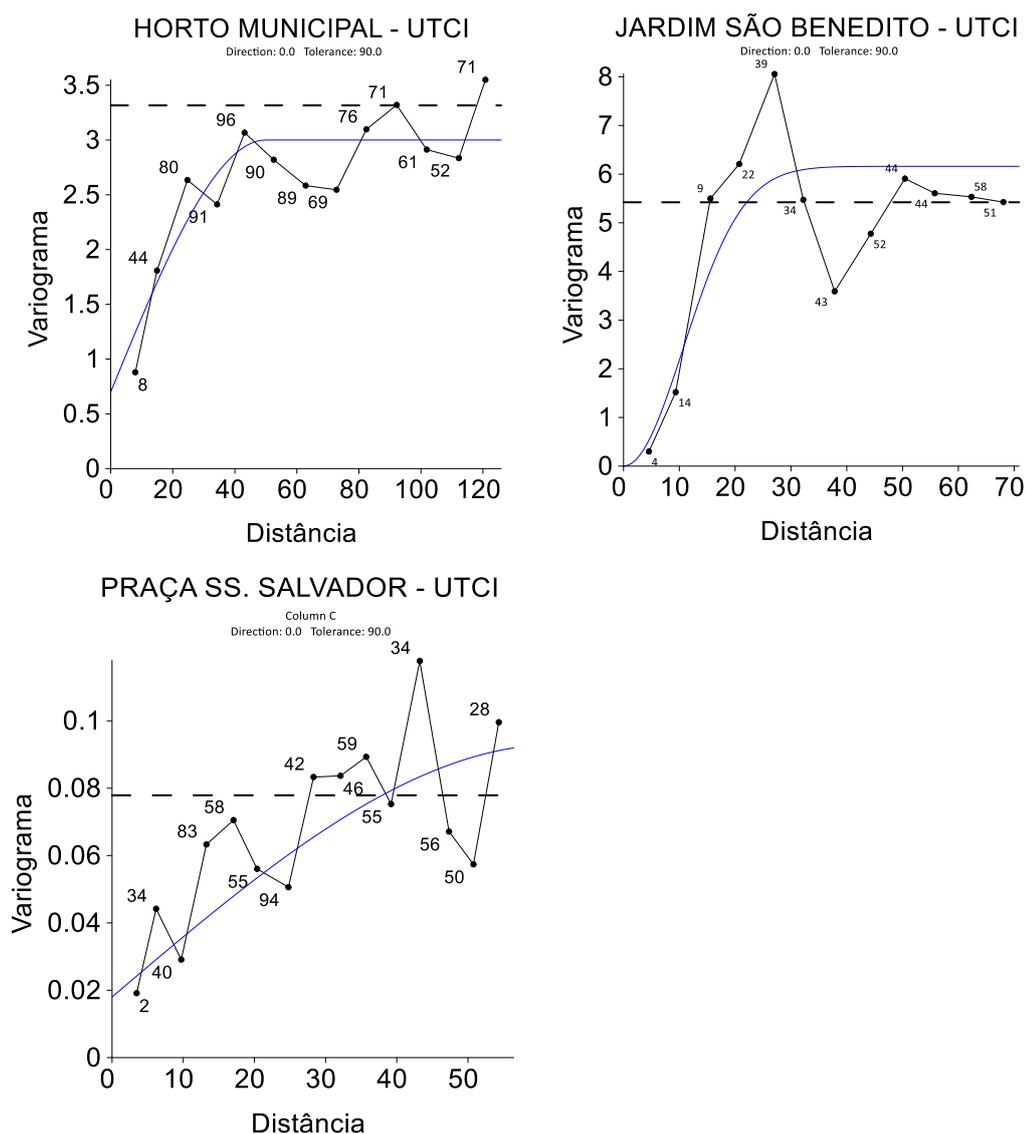


Figura 48. Variogramas do conforto térmico *Universal Climate Temperature Index* (UTCI) em diferentes áreas verdes de Campos dos Goytacazes (RJ). Linha azul = Variância estimada pelo modelo; Linha tracejada = Variância Média; Linha conectada por pontos = Variância observada; Valores nos pontos.

Estudos que envolvem a análise espacial de índices de percepção térmica por meio da geoestatística ainda são poucos, mas pode-se mencionar o trabalho de Nascimento et al. (2018) que também conseguiram obter uma estrutura variográfica analisando outro índice de percepção térmica, o índice de desconforto térmico (IDT), que leva em consideração apenas as características termohigrométricas do ambiente. Ainda com IDT, Cessa (2017) também conseguiu estudar por geoestatística áreas verdes em Sorriso, MT, identificando dependência espacial. Novais et al. (2016) também obtiveram sucesso utilizando a geoestatística para interpolar temperaturas de superfícies em Cuiabá.

A possível continuidade espacial da TA no Horto Municipal (análise 3) foi refletida em correlação positiva significativa com SVF, Tmrt e UTCI (Tabela 27). Já foi discutida a possibilidade de que essa continuidade esteja refletindo erros amostrais. Porém, mesmo que não seja erro, a baixa variabilidade média (Figura 43) minimiza o impacto desta variável na modificação espacial da percepção térmica. A temperatura do ar regula o conforto térmico, mas sua variação no espaço a curtas distâncias é bastante pequena.

A UR% obteve uma correlação positiva significativa com a Tmrt e UTCI na Praça São Salvador (CS1) (Tabela 27), embora com baixa variabilidade no espaço, o que talvez indique possível efeito na umidade causado pelo rio Paraíba do Sul, uma vez que as maiores UTCI foram registradas no setor norte da Praça (Figura 30; p.71).

O SVF apresentou correlações positivas com a Tmrt e UTCI (Tabela 27) em níveis muito semelhantes aos valores encontrados na Parte 1 (Figuras 35 e 36; p. 78 e 79), que também é corroborada pela literatura disponível (Ren et al.; 2014; Wang e Akbari, 2015; Lee e Mayer, 2014).

A Tmrt, influenciando fortemente a UTCI em curtas distâncias, naturalmente resultou em uma correlação positiva significativa praticamente perfeita (Tabela 27), sendo o principal componente modificado da UTCI no espaço.

Tabela 27. Correlação de Pearson entre a temperatura do ar (TA); umidade relativa do ar (UR%); *Sky View Factor* (SVF); temperatura média radiante (Tmrt); e da *Universal Temperature Climate Index* (UTCI) instantâneos em áreas verdes de Campos dos Goytacazes (RJ). Termohigrometria (THAL-300); SVF por fotografias (Jardim São Benedito e Horto Municipal) ou por modelo de simulação (CS1 – *Sky Helios*); Tmrt por *Solweig 1D*; e UTCI por (*Rayman Pro*)

Horto Municipal					
	TA	UR%	SVF	Tmrt	UTCI
TA	1,00				
UR%	-0,18	1,00			
SVF	0,54*	-0,12	1,00		
Tmrt	0,33*	0,10	0,63*	1,00	
UTCI	0,35*	0,08	0,63*	0,99*	1,00
Jardim São Benedito					
TA	1,00				
UR%	0,11	1,00			
SVF	0,07	-0,01	1,00		
Tmrt	0,07	0,12	0,78*	1,00	
UTCI	0,03	0,14	0,77*	0,99*	1,00
Praça do Santíssimo Salvador					
TA	1,00				
UR%	0,15	1,00			
SVF	-0,08	0,25	1,00		
Tmrt	0,17	0,32*	0,23	1,00	
UTCI	0,17	0,32*	0,22	0,98*	1,00

Todos os dados foram normalizados; Velocidade do vento base = 2.0 m/s; *Significativo ($p < 0,05$).

Em todo o trabalho (Partes I; II e III) observou-se como a percepção térmica nos horários de maior elevação do sol é influenciada pela Tmrt, e que essa, espacialmente, é ditada pelo SVF (capacidade do ambiente em fornecer sombra) e posição do sol (dia juliano, horário, latitude, altitude, etc.). As árvores reduzem drasticamente a Tmrt, que por sua vez melhora, em intensidade semelhante, o conforto térmico.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Parte I

Na Praça do Santíssimo Salvador é possível reconstituir com performance satisfatória a maioria dos índices *Sky View Factor* (SVF) pelo método de simulação fotográfica. Níveis de detalhamento maior requerem amostragens com maior resolução espacial. Pontos com baixo SVF isolados e expostos ao sol reduzem a qualidade e performance das reconstituições espaciais de conforto térmico na Praça (CS1). A configuração atual da Praça (CS1) reduziu seu conforto térmico no verão. A adição de árvores da simulação 5 (CS5) apresentou o melhor conforto térmico por área, e pode ser usada como base para planejamento futuro.

Parte II

A temperatura média radiante piora o conforto térmico: a temperatura média radiante pela manhã e à tarde é maior no gramado do que no arvoredo; e o inverso à noite. O SVF por fotografias dessas áreas ou por simulação com o *Sky Helios* são adequados para a interpretação dos resultados nos ambientes estudados, apesar de diferirem. A transição da percepção térmica entre o arvoredo e o gramado é abrupta.

Parte III

No Horto Municipal, Jardim São Benedito e Praça do Santíssimo Salvador, a temperatura média radiante tem forte variabilidade espacial a curtas distâncias, e foi o principal fator determinante do conforto térmico nas áreas. O SVF apresenta a melhor consistência de estrutura variográfica e permite fornecer base para várias decisões no âmbito do planejamento urbano e das áreas verdes.

RECOMENDAÇÕES

Essa pesquisa mostrou como a temperatura e a umidade relativa do ar possuem baixa variabilidade espacial em áreas verdes, nas dimensões de área estudadas, em especial a temperatura do ar que sempre apresentou uma variação muito baixa. Por outro lado, a T_{mrt} que foi estimada por meio de fotografias SVF, sejam estas simuladas ou reais, mostra-se com uma forte variabilidade espacial e atua fortemente nos índices de percepção térmica a curtíssimas distâncias. Dessa forma, o estudo do conforto térmico em ambientes complexos como os parques urbanos, em algumas situações, registrando-se a temperatura e umidade relativa do ar pode ter o esforço reduzido. Por outro lado, compensa um acréscimo de empenho para explicar a temperatura média radiante no espaço, independentemente do método utilizado para fazer sua aquisição, sendo essa recomendação feita especialmente para os horários de maior elevação do sol (próximo ao meio dia, na latitude estudada que é de 21°S) - horário que, segundo a literatura consultada, é o momento de menor diferença entre locais com e sem árvores (temperatura e umidade relativa do ar), e que a temperatura média radiante apresenta as maiores variações no espaço a curtas distâncias.

Durante os momentos em que o desconforto térmico é maior, as árvores desempenham um papel muito forte na redução da T_{mrt} pelo fornecimento de sombra melhorando o conforto térmico. Dessa forma é preciso fazer uma análise crítica da arborização urbana e sobre a valoração dos serviços por ela fornecidos

para a sociedade. Um amplo trabalho nesse sentido pode fazer com que ao passar do tempo se diminua a utilização de técnicas controversas, como as podas drásticas, que obviamente fazem com que a árvore urbana perca a sua habilidade de fornecer os benefícios discutidos neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel-Aziz, D. M., Al, S. A., Al-Kurdi, N. Y., Eng, A. J. E. (2015) Effects of tree shading on building's energy consumption-the case of residential buildings in a mediterranean climate. *American Journal of Environmental Engineering*, 5 (5):131-140.
- Abedinpour, M. (2016) Evaluation of growth-stage-specific crop coefficients of maize using weighing lysimeter. *Soil And Water Research*, 10 (2):99-104.
- Akbari, H., Pomerantz, M., Taha, H. (2001) Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar energy*, 70 (3):295-310.
- Aminipouri, M., Knudby A. J., Krayenhoff, E. S., Zickfeld, K., Middel, A. (2019) Modelling the impact of increased street tree cover on mean radiant temperature across Vancouver's local climate zones. *Urban Forestry & Urban Greening*, 39:9-17.
- Andrade, D. C., Romeiro, A. R. (2009) *Serviços ecossistêmicos e sua importância para o sistema econômico e o bem-estar humano*. São Paulo. UNICAMP:44p.
- Araújo, R; S., Silva, J. D., Ramos, M. R.; Souza, S. P., Rangel, H. C. F., Marques, J. P. E. (2018) Arborização no centro histórico de campos dos goytacazes - RJ. *Humanas Sociais & Aplicadas*, 8 (23):59-70.

- Arnfield, A. J. (2013) Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island, International. *International Journal Of Climatology*, 23:1-6.
- ASHRAE – Fundamentals Handbook (2001) <https://www.ashrae.org/technical-resources/ashrae-handbook> acesso em 03/11/2018 página mantida pela ASHRAE.
- ASPEXIT. (2019) Variogram and spatial autocorrelation: <https://www.aspexit.com/en/variogram-and-spatial-autocorrelation/> em 25/03/20 página mantida pela ASPEXIT.
- Bachmaier, M., Backes M. (2008) Variogram or semivariogram? Understanding the variances in a variogram. *Precision Agric.* 9:173-175.
- Ballinas, M., Barradas, V. L. (2016) The urban tree as a tool to mitigate the urban heat island in Mexico City: a simple phenomenological model. *Journal of environmental quality*, 45 (1):157-166.
- Bargos, D. C., Matias, L. F. (2011) Áreas verdes urbanas: um estudo de revisão e proposta conceitual. *Revista Brasileira de Arborização Urbana*. 6:172-182.
- Barnes, R. (2003) Variogram tutorial: <http://www.goldensoftware.com/variogramTutorial.pdf> em 01/02/2020 página mantida pela Golden Software Inc.
- Barua, D. K. (2005) Beaufort wind scale. *Encyclopedia of coastal science*. Netherlands: Springer, 186-186.
- Beckett, K.P., Freer-smith, P.H., Taylor, G. (1998) Urban woodlands: their role in reducing the effects of particulate pollution. *Environmental Pollution*. 99 (3):347-360.
- Bejranonda, W., Koch, M. (2010) Spatial and temporal Teleconnections of Sea Surface Temperature and Ocean Indices to regional Climate Variations across Thailand - a Pathway to understanding the Impact of Climate Change on Water Resources. Proceedings of the EGU General Assembly. Vienna: *European Geosciences Union*, p.12924
- Blankenstein, S., Kuttler, W. (2004) Impact of street geometry on downward longwave radiation and air temperature in an urban environment. *Meteorologische Zeitschrift*. 13 (5):373-379.
- Blazejczyk, K., Epstein, Y., Jendritzky, G., Staiger, H., Tinz B. (2011) Comparison of UTCI to selected thermal indices. *International Journal Of Biometeorology*. 56 (3):515-535.

- Bolund, P., Hunhammar, S. (1999) Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*. 29 (2):293-301.
- Bonametti, J. H. (2003) Arborização Urbana. *Terra e Cultura*. 36 (5):51-55.
- Borges, P. A., Franke, J., Anunciação, Y. M. T., Weiss, H., Bernhofer, C. (2015) Comparison of spatial interpolation methods for the estimation of precipitation distribution in Distrito Federal, Brazil. *Theoretical And Applied Climatology*, 123 (1-2):335-348.
- Bottyán, Z., Unger, J. (2003) A multiple linear statistical model for estimating the mean maximum urban heat island. *Theoretical And Applied Climatology*. 75 (3-4):233-243.
- Bradley, A., Thornei, J.E., Chapman, L. (2001) A method to assess the variation of urban canyon geometry from sky view factor transects. *Atmospheric Science Letters*. 2:155-165.
- Bröde, P., Fiala, D., Blazejczyk, K., Epstein, Y., Holmér, I., Jendritzky, G., Havenith, G. (2009) Calculating UTCI equivalent temperature. *Environmental Ergonomics XIII*, University of Wollongong, Wollongong, 49-53.
- Brown, M., Grimmond, C., Ratti, C. (2001) Comparison of methodologies for computing sky view factor in urban environments. *Anais do International Society of Environmental Hydraulics Conference*, Tempe – AZ: p. 1-8
- Buera, S. K. Bhuyan, P. K. (2017) – Modeling Quality of Bicycle Accommodations on Urban Road Segments Using Functional Networks and Multivariate Adaptive Regression *Spline Techniques*: <https://trid.trb.org/view/1437546> acesso em 14/06/20 página mantida pela TRB.
- Busato, F., Lazzarin, R.M. and Noro, M. (2014) Three years of study of the Urban Heat Island in Padua: Experimental results. *Sustainable Cities and Society*, 10:251-258.
- Camargo, E. C. G. (1998) Geoestatística: fundamentos e aplicações: http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/ acesso em 15/11/19 página mantida pelo INPE.
- Campos dos Goytacazes. (2019) Plano Diretor de Campos dos Goytacazes: <https://www.campos.rj.gov.br/plano-diretor.php> acesso em 02/06/20 página mantida pela Prefeitura Municipal de Campos dos Goytacazes.

- Carvalho, M. E. C. (1982) As áreas verdes de Piracicaba. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Rio Claro – SP, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista – UNESP, 192p.
- Carvalho, P. E. R. (2008) Espécies arbóreas brasileiras. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 3. ed. Colombo: Embrapa Florestas, 593p.
- Cattle, J. A., Mcbratney, A. B. Minasny, B. (2002) Kriging Method Evaluation for Assessing the Spatial Distribution of Urban Soil Lead Contamination. *Journal Of Environment Quality*. 5:1576-1588.
- Cellura, M., Culotta, S., Brano L., Marvuglia, A. V. (2011) Nonlinear Black-Box Models for Short-Term Forecasting of Air Temperature in the Town of Palermo. *Geocomputation, Sustainability & Environ*. 348:183-204.
- Cessa, R. M. A. (2017) conforto térmico em áreas verdes na cidade de sorriso-mt. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, 12 (1):17-30.
- Chapman, L., Thornes, J. E. (2004) Real-Time Sky-View Factor Calculation and Approximation. *Journal Of Atmospheric And Oceanic Technology*. 21 (5):730-741.
- Chapman, L., Thornes, J. E., Bradley, A. V. (2001) Rapid determination of canyon geometry parameters for use in surface radiation budgets. *Theoretical And Applied Climatology*. 69 (1-2):81-89.
- Chen, L., Ng, E. (2012) Outdoor thermal comfort and outdoor activities: A review of research in the past decade. *Cities*, 29 (2):118-125.
- Chen, L., Ng, E., An, X., Ren, C., Lee M., Wang, U., He, Z. (2012) Sky view factor analysis of street canyons and its implications for daytime intra-urban air temperature differentials in high-rise, high-density urban areas of Hong Kong: a GIS-based simulation approach. *International Journal Of Climatology*, 32 (1)121-136.
- Chen, L., Yu, B., Yang, F., Mayer, H. (2016) Intra-urban differences of mean radiant temperature in different urban settings in Shanghai and implications for heat stress under heat waves: a GIS-based approach. *Energy and Buildings*, 130:829-842.
- Cheung, P. K., Jim, C. Y. (2018) Thermal benefits of Chinese Banyan in subtropical Hong Kong. In Proceedings of the 4th International Conference on Building Energy & Environment 2018. *Conference on Building Energy & Environment–COBEE2018, Melbourne Australia*.

- CIDAC (2015) Perfil – Praças e Jardins: <https://cidac.campos.rj.gov.br/pracas/mobile/em 01/09/20> página mantida pela CICAC/Prefeitura de Campos dos Goytacazes.
- Cuadrat, J. M., Vicente-Serrano, S., Saz, M. A. (2015) Influence of different factors on relative air humidity in Zaragoza, Spain. *Frontiers in Earth Science*, 3:10.
- Daly, H., Farley, J. (2004) *Ecological Economics: Principles and Applications*. Island Press: Washington, 488p.
- Deutsch, C. V. (2002) *Geostatistical Reservoir Modeling*. 1. ed. Nova Iorque: Oxford University Press, 376p.
- Diller, K. R. (2013) Fundamentals of Bioheat Transfer. In: *Moros E. Physics of Thermal Therapy*. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 375p.
- Dimoudi, A., Nikolopoulou, M. (2003) Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. *Energy and Buildings*. 35 (1)69-76.
- Doick, K. J., Peace, A., Hutchings, T. R. (2014) The role of one large greenspace in mitigating London's nocturnal urban heat island. *Science of the Total Environment*, 493:662-671.
- Donovan, G. H., Prestemon, J. P. (2010) The Effect of Trees on Crime in Portland, Oregon. *Environment And Behavior*. (1):3-30.
- ENVI-MET: PMV/PDD: http://www.envi-met.info/doku.php?id=apps:biomet_pmv
em 01/02/20 página mantida pela Envi-met
- Escobedo, F.J., Kroeger, T., Wagner, J.E. (2011) Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services and disservices. *Environmental Pollution*. 159 (8-9):2078-2087.
- Fabbri, K. (2015) A brief history of thermal comfort: from effective temperature to adaptive thermal comfort. In *Indoor Thermal Comfort Perception*, p.7-23)
- Fanger, P. O. (1973) Assessment of Man's Thermal Comfort in Practice. *British Journal of Industrial Medicine*, 30 (4):313–324.
- Fanger, P. O., Højbjerg, J., Thomsen, J. O. B. (1974) Thermal comfort conditions in the morning and in the evening. *International Journal Of Biometeorology*, 18 (1):16-22.
- Fanger, P.O. (1970) *Thermal Comfort*. 1. ed. Copenhagen: Danish Technical Press, 244p.
- Faria, T. J. P., Júnior, L. P. Q. (2017) Rio e História Urbana: o papel do rio Paraíba do Sul na criação e desenvolvimento do município de Campos dos Goytacazes [RJ]. *Labor E Engenharia*, 11(2), 103-115.

- Fischereit, J., Schlünzen, K. H. (2018) Evaluation of thermal indices for their applicability in obstacle-resolving meteorology models. *International journal of biometeorology*, 62 (10):1887-1900.
- Flores G, J. G., Moreno G, D. A., Rincón R, F. (2008) Reconstruction of forest areas using geostatistics as an Aid in the Evaluation of Burned Areas. Proceedings of the Second International Symposium on Fire Economics, Planning, and Policy: A Global View, 2, Albany CA: Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, 291-302.
- Fröhlich, D., Matzarakis, A. (2016) A quantitative sensitivity analysis on the behaviour of common thermal indices under hot and windy conditions in Doha, Qatar. *Theoretical and applied climatology*, 124 (1-2):179-187.
- Gagge, A .P.; Stolwijk, J. A. J., Hardy, J. D. (1967) Comfort and thermal sensations and associated physiological responses at various ambient temperatures. *Environmental Research*, 1 (1):1-20.
- Gagge, A .P.; Stolwijk, J. A. J., Saltin, B. (1969) Comfort and thermal sensations and associated physiological responses during exercise at various ambient temperatures. *Environmental Research*, 2 (3):209-229.
- Gago, E. J., Roldan, R., Pacheco-Torres, J., Ordóñez, J. (2013) The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 25:749-758.
- Gál, T. M., Rzepa, M., Gromek, B., Unger, J. (2007) Comparison between sky view factor values computed by two different methods in an urban environment. *Acta Climatologica et chorologica*, 40:17-26.
- Garcia, S.S., Solano, J.J.P.S., Serrano, M.C., Camba, E.A.N., Castell, S.F., Asensi, A.S., Suay, F.M. (2006) Spatial Statistical Analysis of Urban Noise Data from a WASN Gathered by an IoT System: Application to a Small City. *Applied Sciences*. 6 (12):380-394.
- Gibb, H., Hochuli, D.F. (2002) Habitat fragmentation in an urban environment: large and small fragments support different arthropod assemblages. *Biological Conservation*. 106 (1):91-100.
- Gobo, J. P. A. (2013) *Regionalização climática do Rio Grande do Sul com base no zoneamento do conforto térmico humano*. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo – USP, 184p.

- Grekousis, G. (2020) *Spatial Analysis Theory and Practice: Describe–Explore–Explain through GIS*. 1. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 533p.
- Grimmond, C.S.B., Potter, S.K., Zutter, H.N. Souch, C. (2001) Rapid methods to estimate sky-view factors applied to urban areas. *International Journal Of Climatology*. 21 (7):903-913.
- Hamilton, J. D. (1994) *Time Series Analysis*. 1. ed. Princeton: Princeton University Press, 820p.
- Han, J., Liu, S., Zhang, J., Zhou, L., Fang, Q., Zhang, J., Zhang, Y. (2017) The impact of temperature extremes on mortality: a time-series study in Jinan, China. *BMJ Open*, 7 (4): 14741-14752.
- Harder, C., Brown, C. (2017) *The ArcGIS book: 10 big ideas about applying the science of where*. 2. ed. Redlands: *Esri Press*, 172p.
- Herrington, L.P. (1974) Trees and acoustic in urban areas. *Journal of Forestry*. 72 (8):462-465.
- Holmer, B. (1992) *A simple operative method for determination of sky view factors in complex urban canyons from fisheye photographs*. 1 (5):236-239.
- Holmer, B., Postgård, U., Eriksson, M. (2001) Sky view factors in forest canopies calculated with IDRISI. *Theoretical And Applied Climatology*. 68 (1-2):33-40.
- Hwang, R. L., Lin, T. P., Cheng, M. J., Lo, J. H. (2010) Adaptive comfort model for tree-shaded outdoors in Taiwan. *Building and Environment*, 45(8), 1873-1879.
- Isaaks, E. H. Srivastava, R. M. (1990) *An Introduction to Applied Geostatistics*. 1. ed. Nova Iorque: Oxford University Press, 592p.
- ISB (International Society Of Biometeorology) – Commission 6 for the Development of a Universal Thermal Climate Index (UTCI). <http://www.utci.org/isb/documents/utci.pdf> acesso em 10/11/2019 página mantida pela ISB.
- Jakob, A. A. E. (2016) *A krigagem como método de análise de dados demográficos*. Anais do XIII Encontro Nacional de Estudos Populacionais, Ouro Preto: Associação Brasileira de Estudos Populacionais, p.1-21.
- Jauregui, E. (1990) Influence of a large urban park on temperature and convective precipitation in a tropical city. *Energy and Buildings*. 15 (3–4):457–463.
- Jim, C. Y. (2004) Green-space preservation and allocation for sustainable greening of compact cities. *Cities*, 21 (4):311-320.

- Johnson, G.T., Watson, I.D. (1984) The Determination of View-Factors in Urban Canyons. *Journal Of Climate And Applied Meteorology*. 23 (2):329-335.
- Jones, C. B. (2014) Geographical information systems and computer cartography. 1. ed. Nova Iorque: Routledge, 344p.
- Jones, E.L., Leather, S.R. (2012) *Invertebrates in urban areas: A review*. *European Journal Of Entomology*. 109 (4):463-478.
- Journel, A. G., Huijbregts, C. J. (1978) *Mining geostatistics*. 1. ed. United Kingdom: Blackburn Press, 600p.
- Kántor, N., Unger, J. (2010) Benefits and opportunities of adopting GIS in thermal comfort studies in resting places: An urban park as an example. *Landscape And Urban Planning*. 98 (1):36-46.
- Kántor, N., Unger, J. (2011) The most problematic variable in the course of human-biometeorological comfort assessment — the mean radiant temperature. *Open Geosciences*. 3 (1):90-100.
- Kaplan, S. *The restorative benefits of nature: Toward an integrative framework*. *Journal Of Environmental Psychology*. 15 (3):169-182.
- Kershaw, C. (2017) *Climate Change Resilience in the Urban Environment*. 1. ed. Bristol: IOP publishing, 167p.
- Koç, A.; Yılmaz, S.; Irmak, A. A.; Matzarakis, A. - The role of trees in urban thermal comfort and SkyView Factor. http://www.meteo.fr/icuc9/LongAbstracts/bph1-1-2751290_a.pdf acesso em 02/01/2019 página mantida pela METEO-FR.
- Köppen, W. (1936) In Köppen, W., Geiger R. *Das geographische System der Klimate: Handbuch der Klimatologie*. 1. ed. Berlin: Borntraeger, p. 1-44.
- Kuo, F.E. (2003) The role in arboriculture in a healthy social ecology. *Journal of Arboriculture*. 29 (3):148-155.
- Kuo, F.E., Sullivan, W.C. (2001) Environment and crime in the inner city. *Environment And Behavior*. 33 (3):343-367.
- Lambertz, R. (2016) Conforto e estresse térmico: http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Apostila%20Conforto%20T%C3%A9rmico_2016.pdf em 02/01/19 página mantida pela Universidade Federal de Santa Catarina.
- Landsberg, H. E. (1981) *The urban climate*. 1. ed. Cambridge: Academic press, 275p.

- Lee, H., Mayer, H. (2014) Significance of 3-D radiant flux densities for the determination of the mean radiant temperature: synopsis of experimental investigations in Freiburg, Southwest Germany, during summer. Proceedings of the Japanese-German meeting on urban climatology, 7, *Hannover: Japanese-German meeting on urban climatology*. p. 1-8.
- Li, J., Andrew D. H. (2008) A review of spatial interpolation methods for environmental scientists. *Ecological Informatics*, 6:137-145.
- Lin, P., Gou, Z., Lau, S. S. Y., & Qin, H. (2017) The impact of urban design descriptors on outdoor thermal environment: A literature review. *Energies*, 10(12), 2151.
- Lin, T., Tsai, K., Hwang, R., Matzarakis, A. (2012) Quantification of the effect of thermal indices and sky view factor on park attendance. *Landscape And Urban Planning*. 107 (2):137-146.
- Lin, Y., Tsai, C. Sullivan, W.C., Chang, C., Chang, P. (2014) Does awareness effect the restorative function and perception of street trees? *Frontiers In Psychology*, 5:1-5.
- Lindberg, F. (2005) Towards the use of local governmental 3-D data within urban climatology studies. *Mapping and Image Science*. 2:32-37.
- Lindberg, F., Björn H., and Thorsson S. (2008) SOLWEIG 1.0—Modelling spatial variations of 3D radiant fluxes and mean radiant temperature in complex urban settings. *International journal of biometeorology*, 52.7 :697-713.
- Lotufo, C.B., Labaki, L. (2003) How much does the change of species of trees affect their solar radiation attenuation? *Int. Conf. Urban Clim.* 5:267-270.
- Lyu, T., Buccolieri, R., Gao, Z. (2019) A numerical study on the correlation between sky view factor and summer microclimate of local climate zones. *Atmosphere*, 10 (8):438.
- Mahmoud, A.H.A. (2011) Analysis of the microclimatic and human comfort conditions in an urban park in hot and arid regions. *Building And Environment*. 46 (12):2641-2656
- Marchionni, V., Guyot, N., Tapper, N., Walker, J.P., Daly, E. (2019) Water balance and tree water use dynamics in remnant urban reserves. *Journal Of Hydrology*, 575:343-353.
- Martini, A., Biondi, D., Batista, A. C. (2020) Thermal comfort provided by street trees in cities. *Arboricultural Journal*, 1-12.

- Martini, A., Biondi, D., Batista, A.C., Zamproni, K. (2013) Valores extremos do índice de conforto térmico nas ruas de Curitiba-pr: comparação entre ambientes arborizados e sem arborização. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*. 8 (3)52-62.
- Martin-Vide, J., Sarricolea, P., Moreno-García, M. C. (2015) On the definition of urban heat island intensity: the “rural” reference. *Frontiers in Earth Science*, 3:24
- Matzarakis, A., Mayer, H., Iziomon, M. Q. (1999) Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *International Journal Of Biometeorology*. 43 (2)76-84.
- Matzarakis, A., Rutz, F (2005) Application of Rayman for tourism and climate investigations. *Annalen der Meteorologie*. 41:631-636.
- Matzarakis, A., Rutz, F., Mayer, H. (2006) Modelling radiation fluxes in simple and complex environments—application of the Rayman model. *International Journal Of Biometeorology*. 51 (4):323-334.
- Matzarakis, A., Rutz, F., Mayer, H. (2009) Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the Rayman model. *International Journal Of Biometeorology*. 54 (2)131-139.
- Mayer, H., Höpfe, P. (1987) Thermal comfort of man in different urban environments. *Theoretical and Applied Climatology*, 38:43-49.
- Mersereau, D. (2016) *There's No Such Thing as 'the Temperature in the Shade'*: <https://www.mentalfloss.com/article/82406/theres-no-such-thing-temperature-shade>. acesso em 19/02/20 página mantida pela Mentalfloss.
- Młoczek, W., Lew, R. (2020) *Forecasting trajectories of an emerging epidemic with mathematical modeling in an online dashboard: the case of covid-19*. Medrxiv, 0:1-12.
- Moll, G. (1989) Search of an ecological urban landscape. In: Moll, G., Ebenreck, S. *Shading Our Cities*. Washington: Island Press, Washington, 329p.
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007) Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900.
- Napoli, D. C., Pappenberger, F., Cloke, H. L. (2018) Assessing heat-related health risk in Europe via the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *International journal of biometeorology*, 62(7), 1155-1165.

- Nascimento, R. C., da Silva, J. B. S., de Vasconcelos, T. L., de França, R. S. (2018) Variabilidade Espacial de Parâmetros Meteorológicos e do Conforto Térmico em Recorte Urbano com Diferentes Configurações Paisagísticas, Recife-PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12 (1):009-021.
- Nash, J. E., Sutcliffe, J. V. (1970) River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal Of Hydrology*, 10:282-290.
- Nazarian, N., Sin, T., Norford, L. (2018) Numerical modeling of outdoor thermal comfort in 3D. *Urban climate*, 26:212-230.
- Nikolopoulou, M., Baker, N., Steemers, K. (2001) Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter. *Solar Energy*. 70 (3):227-235.
- Norton, B.A., Coutts, A.M., Livesley, S.J., Harris, R.J., Hunter, A. M., Williams, S.G. (2015) Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. *Landscape And Urban Planning*, 134:127-138.
- Novais, J. W. Z., Joaquim, T. D. O., de Oliveira Kunz, F., Zuffo, M., Pelegrin, F. M., Nogueira, M. C. D. J. A., Leal, L. A. (2016) Condições Térmicas e Dependência Espacial da Temperatura de Diferentes Superfícies pelo Método da Krigagem em Cuiabá-MT, Brasil. *Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, 20 (3):131-136.
- Nowak, D. J., Appleton, N., Ellis, A., Greenfield, E. (2017) Residential building energy conservation and avoided power plant emissions by urban and community trees in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening*, 21:158-165.
- Nowak, D.J. Crane, D.E., Stevens, J.C. (2006) Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening*. 4 (3-4):115-123.
- Nowak, D.J., Crane, D.E., Dwyer, J.F. (2002) Compensatory value of urban trees in the United States. *Journal of Arboriculture*. 28 (4):194-199.
- Oke, T.R. (1981) Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: Comparison of scale model and field observations. *Journal Of Climatology*. 3:237-254.
- Oke, T.R. (1988) The Urban Energy Balance. *Progress in Physical Geography*. 12 (4): 471-508.

- ONSET computing – HOBO U23 Pro v2 Temperature/Relative Humidity Data Logger: <https://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/u23-001>. acesso em 02/01/20 página mantida pela ONSET computing
- Páez, A., Scott, D. M. (2004) Spatial statistics for urban analysis: a review of techniques with examples. *GeoJournal*, 61(1):53-67.
- Petralli, M., Massetti, L., Orlandini, S. (2009) Air temperature distribution in an urban park: Differences between open-field and below a canopy. In: *The seventh International Conference on Urban Climate*, Yokohama, Japan.
- Pimentel, P. C. (2016) O centro histórico de Campos dos Goytacazes/RJ: a revitalização, o comércio local e a nova funcionalidade do lugar. *Revista Intratextos*, 7 (1):1-24.
- Rakha, Tarek, Pouya Zhand, and Christoph Reinhart. (2017) "A Framework for Outdoor Mean Radiant Temperature Simulation: Towards Spatially Resolved Thermal Comfort Mapping in Urban Spaces." *Proceedings of the 15th IBPSA* : 2414-2420.
- Ramos, A., e Rebello, E. (2018) Normais Climatológicas do Brasil 1981–2010. *Instituto Nacional de Meteorologia–INMET*, edição digital, 747p.
- Ramsden, J. (2015) Beware of using the UTCI approximation at extreme values: <http://james-ramsdens.com/utci-approximation-at-extreme-values/> acesso em 09/03/20 página mantida por James Ramsden
- Ren, C., Lau, K., Ho J. (2014) *A pilot study of numerical modelling of mean radiant temperature in high-density sub-tropical urban environment. Proceedings of the International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island*, 3, Venice: ic2uhi, p.1147-1156.
- Ribeiro, C. C., Simone L. M. (2004) Experimental and Efficient Algorithms: Third International Workshop, Angra Dos Reis, *Brazil, Proceedings*. Vol. 3059.
- Ritter, A., Muñoz-carpenter, R. (2013) Performance evaluation of hydrological models: Statistical significance for reducing subjectivity in goodness-of-fit assessments. *Journal of Hydrology*, 480:33-45.
- Rockware. (2019) What is a variogram?: https://help.rockware.com/rockworks17/WebHelp/gridding_krig_variogram.htm acesso em 19/07/20 página mantida pela Rockware Inc.
- Rodrigues, C. A. G., Bezerra, B. C., Ishii, I, H., Cardoso, E. L., Soriano, B. M. A. Oliveira, H. (2008) *Árvores: importância para a arborização urbana*.

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/810730/1/DOC42.pdf>
 acesso em 10/02/2019 página mantida pela EMBRAPA.

- Rosenfeld, M., Marom, G., Bitan, A. (2010) Numerical Simulation of the Airflow Across Trees in a Windbreak. *Boundary-Layer Meteorol*, 135:89-107.
- Rossi, F.A., Kruger, E. L., Brode, P. Definição de faixas de conforto e desconforto térmico para espaços abertos em Curitiba, PR, com o índice UTCI. *Ambiente Construído*. 12 (1):41-59.
- Rowntree, R. A. (1988) Ecology of the urban forest: introduction to part III. *Landscape and Urban Planning*, 15(1-2), 1-10.
- Salata, F., Golasi, I., Vollaro, E. D. L., Bisegna, F., Nardecchia, F., Coppi, M., Vollaro, A. D. L. (2015) Evaluation of different urban microclimate mitigation strategies through a PMV analysis. *Sustainability*, 7(7), 9012-9030.
- Shafer, J. M. and Varljen, M. D. (1990) Approximation of confidence limits in sample semivariograms from single realizations of spatially correlated random fields', *Water Resources Research*, 26 (8):1787-1802.
- Shashua-Bar, L., Pearlmutter, D., Erell, E. (2010) The influence of trees and grass on outdoor thermal comfort in a hot-arid environment. *International Journal of Climatology*. 31 10:1498–1506.
- Silva, M. C. G. (2014) Spreadsheets for the calculation of Thermal Comfort Indices PMV and PPD: http://www.researchgate.net/publication/255971260_SPREADSHEETS_FOR_THE_CALCULATION_OF_THERMAL_COMFORT_INDICES_PMV_AND_PPD em 02/03/202. Página mantida por Researchgate
- Silveira, P. C. A. (2017) *CIDADE TRANSVERSAL: semantização do espaço urbano em Campos dos Goytacazes/RJ*. Dissertação (Mestrado em Cognição e Linguagem) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 108p.
- Solecki, W. D., Rosenzweig, C., Parshall, L., Pope, G., Clark, M., Cox, J., Wiencke, M. (2005) Mitigation of the heat island effect in urban New Jersey. *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards*, 6 (1): 39-49.
- Souch, C. A., Souch, C. (1993) The effect of trees on summertime below canopy urban climates: a case study Bloomington, Indiana. *Journal of Arboriculture*, 19 (5):303-312.

- Souza, L.C.L., Rodrigues, D.S., Mendes, J.F.G. (2003) The 3DSkyView extension: an urban geometry access tool in a geographical information system, *Anais do Fifth International Conference on Urban Climate*, 2, Lodz – Poland: University of Lodz, p.413–416
- Spagnolo, J., Dear, R. (2003) A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia. *Building And Environment*. 38 (5):721-738.
- Špelić, I., Mihelić-Bogdanić, A., Šajatović A. H. (2019) *Standard Methods for Thermal Comfort Assessment of Clothing*. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 244p.
- Staiger, H., Laschewski, G., Grätz, A. (2011) The perceived temperature – a versatile index for the assessment of the human thermal environment. Part A: scientific basics. *International Journal Of Biometeorology*. 56 (1)165-176.
- Steyn, D.G. The calculation of view factors from fisheye-lens photographs: Research note. *Atmosphere-ocean*. 18 (3):254-258.
- Streinu-Cercel, A., Costoiu, S., Mârza, A., Streinu-Cercel, A., Mârza, A. (2008) Models for the indices of thermal comfort. *Journal of Medicine and Life*, 1:148-156.
- Takács, Á., Kiss, M., Gulyás, Á., Kántor, N. (2015) Microclimate regulation potential of different tree species: transmissivity measurements in Szeged, Hungary. Proceedings of the ICUC9 - 9 th International Conference on Urban Climate jointly with 12th Symposium on the Urban Environment: Toulouse: The International Association for Urban Climate (IAUC) and the American Meteorological Society (AMS). 1-5p.
- Tang, I.-C., Tsai, Y.-P., Lin, Y.-J., Chen, J.-H., Hsieh, C.-H., Hung, S.-H., Sullivan, W.C., Tang, H.-F. e Chang, C.-Y. (2017) Using functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI) to analyze brain region activity when viewing landscapes. *Landscape And Urban Planning*. 162:137-144.
- Teixeira, F. G. (2019) *Os investimentos públicos em áreas verdes e a produção do espaço urbano em Campos dos Goytacazes*. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional, Ambiente e Políticas Públicas) - Universidade Federal Fluminense – UFF, 140p.
- Thom, J. K., Coutts, A. M., Broadbent, M., Tapper, N. J., Broadbent, M., Tapper, N. T. (2016) The influence of increasing tree cover on mean radiant temperature

- across a mixed development suburb in Adelaide, Australia. *Urban Forestry & Urban Greening*, 20:233-242.
- Thorsson, D, Lindberg, F., Eliasson, I, Holmer, B. (2007) Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting. *International Journal Of Climatology*. 27(14):1983-1993.
- Thorsson, S., Honjo, T., Lindberg, F., Eliasson, I., & Lim, E.-M. (2007) Thermal Comfort and Outdoor Activity in Japanese Urban Public Places. *Environment and Behavior*, 39(5), 660–684.
- Thorsson, S., Lindqvist, M., Lindqvist, S. (2004) Thermal bioclimatic conditions and patterns of behaviour in an urban park in Goteborg, Sweden. *International Journal Of Biometeorology*. 48 (3)149-156.
- Tzavali, A., Paravantis, J. P., Mihalakakou, G., Fotiadi, A., Stigka, E. (2015) Urban heat island intensity: a literature review. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24 (12b):4537-4554.
- Unger, J. (2009) Connection between urban heat island and sky view factor approximated by a software tool on a 3D urban database. *International Journal Of Environment And Pollution*. 36:59-80.
- Wadoux, A. M. C., Marchant, B. P., Lark, R. M. (2019) Efficient sampling for geostatistical surveys. *European Journal of Soil Science*, 70(5), 975-989.
- Walikewitz, N., Jänicke, B., Langner, M., Meier, F. e Endlicher, W. (2015) The difference between the mean radiant temperature and the air temperature within indoor environments: A case study during summer conditions. *Building and Environment*. 84:51–161.
- Wang, W., Chau, K., Cheng, C., Qiu, L. (2009) A comparison of performance of several artificial intelligence methods for forecasting monthly discharge time series. *Journal Of Hydrology*, 374 (3-4):294-306.
- Wang, Y., Akbari, H. (2014) Effect of Sky View Factor on Outdoor Temperature and Comfort in Montreal. *Environmental Engineering Science*. 31 (6):272-287.
- Wang, Y., Akbari, H. (2015) *A simulation study of the effects of street tree planting on Urban Heat Island mitigation in Montreal. Proceedings of the CCTC*, Montreal: Eic, p.1-10.
- Watkins, R., Palmer, J., Kolokotroni, M., Littlefair, P. (2002) The balance of the annual heating and cooling demand within the London urban heat island. *Building Services Engineering Research Technology*, 23:207-213.

- Watson, I.D., Johnson, G.T. (1987) Graphical estimation of sky view-factors in urban environments. *Journal Of Climatology*. 7 (2):193-197.
- Webster, R., Oliver, M. A. (1993) How large a sample is needed to estimate the regional variogram adequately? *Quantitative Geology And Geostatistics*, 155-166.
- Webster, R., Oliver, M.A. (2001) *Geostatistics for Environmental Scientists*. 1. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 271p.
- White, M., Kimm, G. (2015) Measuring sky view factor of urban canyons using hacked Gopro hemispheric video processing. Proceedings of the 49th International Conference of the Architectural Science Association. Melbourne: *The Architectural Science Association and The University of Melbourne*, p. 525-535.
- WHO – Constitution: <https://www.who.int/about/who-we-are/constitution> em 30/06/2019 página mantida pela World Health Organization.
- Whuber (2013) Minimum number of samples for kriging interpolation: <http://gis.stackexchange.com/questions/50584/minimum-number-of-samples-for-kriging-interpolation> acesso em 15/04/20 página mantida pela Stackexchange
- Winner, W.E. (1994) Mechanistic Analysis of Plant Responses To Air Pollution. *Ecological Applications*. 4 (4):651-661.
- Wong, S. I., Wan, K. K. W., Lam T. N. T. (2010) Artificial neural networks for energy analysis of office buildings with daylighting. *Applied Energy*, 87 (2):551-557.
- Yang, F., Chen, L. (2020) High-Rise Urban Form and Microclimate. Singapore: *Springer*, 211p.
- Yi, C., Yire, S., Seung, M. A. (2017) A study on a comparison of sky view factors and a correlation with air temperature in the city." *Atmosphere* 27:483-498.
- Zajic, D., Fernando, H. J. S., Calhoun, R., Princevac, M. J., Pardyak E. R. (2011) Flow and Turbulence in an Urban Canyon. *Journal Of Applied Meteorology And Climatology*, 50 (1):203-223.
- Zhang, H., Wang Y. (2010) Kriging and cross-validation for massive spatial data. *Environmetrics: The official journal of the International Environmetrics Society*, 21:290-304.