



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

GIZELY AZEVEDO COSTA

**GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AO ESTUDO COMPORTAMENTAL DAS ILHAS
DE CALOR URBANAS**

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2020

GIZELY AZEVEDO COSTA

**GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AO ESTUDO COMPORTAMENTAL DAS ILHAS
DE CALOR URBANAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2020

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

C837g Costa, Gizely Azevedo, 1994-
Geotecnologias aplicadas ao estudo comportamental das ilhas de calor urbanas / Gizely Azevedo Costa. - 2020.
128 f. : il.

Orientador: Alexandre Rosa dos Santos.
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) -
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. conforto térmico. 2. índices de vegetação. 3. temperatura superficial. 4. urbanização. I. Santos, Alexandre Rosa dos. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. III. Título.

CDU: 630

**GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AO ESTUDO COMPORTAMENTAL DAS
ILHAS DE CALOR URBANAS**

Gizely Azevedo Costa

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

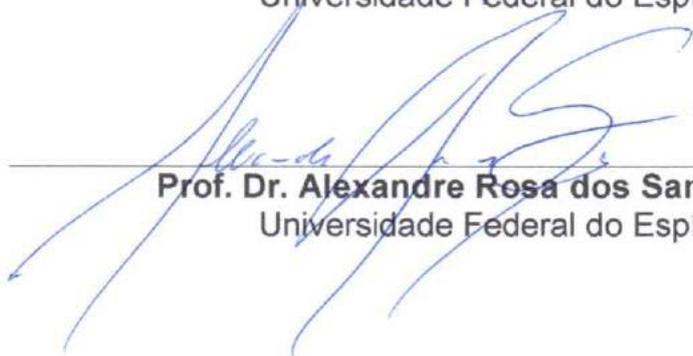
Aprovada em 18 de fevereiro de 2020.



Prof^a. Dr^a. Daiani Bernardo Pirovani (Examinadora externa)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo



Prof. Dr. Henrique Machado Dias (Examinador interno)
Universidade Federal do Espírito Santo



Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos (Orientador)
Universidade Federal do Espírito Santo

“Você ganha força, coragem e confiança através de cada experiência em que você realmente para e encara o medo de frente”.

(Eleanor Roosevelt)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me sustentar até aqui e conceder motivação e discernimento para concluir essa intensa trajetória acadêmica.

À minha família, meus pais Osiel e Maria Edir, por serem meu refúgio e alívio nos dias mais difíceis e por nunca pouparem esforços para contribuir com minha formação, se fazendo sempre presentes com doses diárias de apoio e incentivo para nunca desanimar. Ao meu irmão (Rafael), e sobrinhos (Michel e Lucas), por me proporcionarem momentos maravilhosos de alegria e descontração. Só tenho a agradecer e dizer que amo muito todos vocês e que são tudo para mim.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos, pelos ensinamentos e motivações constantes para realização da pesquisa e também no desenvolvimento de minha formação profissional.

Ao Professor Dr. Henrique Machado Dias por todas contribuições em busca do aperfeiçoamento do trabalho.

À Professora Dr. Daiani Bernardo Pirovani por ter aceitado participar mais uma vez de uma etapa fundamental em minha formação profissional. Obrigada por tudo sempre, o ponta pé inicial dessa trajetória ainda lá na graduação aconteceu graças ao seu apoio e incentivo.

As amigas de longa data por todo apoio, carinho e incentivo (mesmo à distância), tornando mais leve a realização desse sonho.

As amigadas construídas no laboratório de Geotecnologia ambiental pela convivência diária extremamente agradável e pela troca de conhecimentos.

À Universidade Federal do Espírito Santo e o programa de Pós Graduação em Ciências Florestais pela oportunidade de aperfeiçoamento profissional.

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

RESUMO

COSTA, Gizely Azevedo. **Geotecnologias aplicadas ao estudo comportamental das ilhas de calor urbanas**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos.

O processo de urbanização pode alterar o espaço físico e influenciar a qualidade ambiental em detrimento da redução das áreas verdes presentes nos grandes centros urbanos. Como consequência, muitas cidades são impactadas pelo efeito das ilhas de calor, fenômeno responsável pelo acúmulo de calor no interior das áreas urbanizadas, gerando um aumento considerável de temperatura, podendo influenciar a qualidade de vida da população. Neste contexto, objetivou-se com esse estudo analisar a distribuição espacial e temporal das ilhas de calor urbanas e a influência das áreas verdes na formação dos microclimas urbanos no município do Rio de Janeiro, Brasil. Os procedimentos metodológicos empregados foram divididos nas seguintes etapas: a) análise de mudanças no uso e ocupação da terra entre os anos de 2014-2018; b) estimativa sazonal da temperatura da superfície terrestre (T_s); c) obtenção e confronto geoestatístico sazonal entre os índices de vegetação (NDVI e EVI), área construída (NDBI) com a temperatura da superfície terrestre; avaliação ecológica das ilhas de calor pelo índice (UTFVI); estimativa do nível de conforto térmico urbano por meio dos índices (ITU, IDT e TEV). Como resultados, observou-se que a cidade do Rio de Janeiro encontra-se sob influência das ilhas de calor, as áreas mais antigas da cidade e sobretudo mais urbanizadas são as mais acometidas pelas altas temperaturas. Foi possível constatar o papel da vegetação na formação dos microclimas urbanos por meio do coeficiente de correlação negativo entre a temperatura da superfície (T_s) e os índices de vegetação (NDVI) e (EVI), e ainda um coeficiente de correlação positivo entre Temperatura da Superfície (T_s) e o Índice de Áreas Construídas por Diferença Normalizada (NDBI), demonstrando a influência da urbanização no aumento da temperatura. Por meio dos índices de conforto analisados, foi possível inferir que sobretudo nos períodos do verão a sensação térmica percebida pela população chega a níveis muito desconfortáveis, demonstrando a necessidade e importância da adoção de medidas

mitigatórias para amenização da temperatura. Desta forma, conclui-se que as mudanças ocorridas no padrão de uso e ocupação da terra devido a constante urbanização impactam diretamente na formação e intensidade das ilhas de calor, sendo que a vegetação atua positivamente no controle do microclima urbano. A metodologia empregada apresenta potencial para o estudo comportamental das ilhas de calor urbanas para outras cidades do mundo.

Palavras-chave: conforto térmico, índices de vegetação, temperatura superficial, urbanização.

ABSTRACT

COSTA, Gizely Azevedo. **Geotechnologies applied to the behavioral study of urban heat islands**. 2020. Dissertation (Master Degree in Forest Sciences) - Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Adviser: Dr. Alexandre Rosa dos Santos.

The urbanization process can alter the physical space and influence the environmental quality to the detriment of the reduction of green areas present in large urban centers. As a consequence, many cities are impacted by the effect of heat islands, a phenomenon responsible for the accumulation of heat inside urbanized areas, generating a considerable increase in temperature, which can influence the quality of life of the population. In this context, the aim of this study was to analyze the spatial and temporal distribution of urban heat islands and the influence of green areas on the formation of urban microclimates in the city of Rio de Janeiro, Brazil. The methodological procedures employed were divided into the following steps: a) analysis of changes in land use and occupation between the years 2014-2018; b) seasonal estimate of the earth's surface temperature (Ts); c) obtaining and geostatistical seasonal comparison between the vegetation indexes (NDVI and EVI), constructed area (NDBI) with the temperature of the terrestrial surface; ecological assessment of heat islands using the index (UTFVI); estimate of the level of urban thermal comfort using the indices (ITU, IDT and TEV). As a result, it was observed that the city of Rio de Janeiro is under the influence of the heat islands, the oldest and most urbanized areas of the city are the most affected by high temperatures. It was possible to verify the role of vegetation in the formation of urban microclimates through the negative correlation coefficient between the surface temperature (Ts) and the vegetation indices (NDVI) and (EVI), and also a positive correlation coefficient between Temperature of Surface (Ts) and the Index of Areas Built by Normalized Difference (NDBI), demonstrating the influence of urbanization on the increase in temperature. Through the comfort indexes analyzed, it was possible to infer that, especially during the summer, the thermal sensation perceived by the population reaches very uncomfortable levels, demonstrating the need and importance of

adopting mitigation measures to reduce the temperature. Thus, it is concluded that changes in the pattern of land use and occupation due to constant urbanization directly impact the formation and intensity of heat islands, with vegetation acting positively in the control of the urban microclimate. The methodology employed presents potential for the behavioral study of urban heat islands to other cities in the world.

Keyword: thermal comfort, vegetation indices, surface temperature, urbanization

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da cidade do Rio de Janeiro, Brasil	30
Figura 2 - Fluxograma metodológico contendo resumo de todas etapas empregadas no estudo	32
Figura 3. Fluxograma das etapas de análises de mudanças no uso e ocupação da terra	34
Figura 4 - Localização das estações meteorológicas utilizadas pertencentes ao Sistema Alerta Rio, e ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).....	42
Figura 5 - Uso e Ocupação da Terra referente ao ano de 2014 para a cidade do Rio de Janeiro, Brasil	47
Figura 6 - Uso e Ocupação da Terra referente ao ano de 2018 para a cidade do Rio de Janeiro, Brasil	48
Figura 7 - Análise gráfica de ganhos e perdas no uso e ocupação da terra entre os anos de 2014 e 2018 para a cidade do Rio de Janeiro, Brasil	51
Figura 8 - Análise gráfica de mudanças líquidas no uso e ocupação da terra entre os anos de 2014 e 2018 para a cidade do Rio de Janeiro, Brasil	52
Figura 9 - Distribuição da temperatura da superfície terrestre para o ano de 2014, na cidade do Rio de Janeiro, Brasil.....	54
Figura 10 - Distribuição da Temperatura da Superfície Terrestre para o ano de 2015, na cidade do Rio de Janeiro, Brasil.....	56
Figura 11 - Distribuição da Temperatura da Superfície Terrestre para o ano de 2016, na cidade do Rio de Janeiro, Brasil.....	58
Figura 12 - Distribuição da Temperatura da Superfície Terrestre para o ano de 2017, na cidade do Rio de Janeiro, Brasil.....	59
Figura 13 - Distribuição da Temperatura da Superfície Terrestre para o ano de 2018, na cidade do Rio de Janeiro, Brasil.....	60
Figura 14 - Espacialização dos índices NDVI, EVI e NDBI para a cidade do Rio de Janeiro para o ano de 2014	66
Figura 15 - Espacialização dos índices NDVI, EVI e NDBI para a cidade do Rio de Janeiro para o ano de 2015	67
Figura 16 - Espacialização dos índices NDVI, EVI e NDBI para a cidade do Rio de Janeiro para o ano de 2016	68
Figura 17 - Espacialização dos índices NDVI, EVI e NDBI para a cidade do Rio de Janeiro	

para o ano de 2017	69
Figura 18 - Espacialização dos índices NDVI, EVI e NDBI para a cidade do Rio de Janeiro para o ano de 2018	70
Figura 19 - Índice de variação do campo térmico na cidade do Rio de Janeiro para o ano de 2014	73
Figura 20 - Índice de variação do campo térmico na cidade do Rio de Janeiro para o ano de 2015	74
Figura 21 - Índice de variação do campo térmico na cidade do Rio de Janeiro para o ano de 2016	75
Figura 22 - Índice de variação do campo térmico na cidade do Rio de Janeiro para o ano de 2017	76
Figura 23 - Índice de variação do campo térmico na cidade do Rio de Janeiro para o ano de 2018	77
Figura 24 - Gráfico representativo da sensação de conforto térmico para os anos de 2014 a 2018 conforme índice ITU	83
Figura 25 - Gráfico representativo da sensação de conforto térmico para os anos de 2014 a 2018 conforme índice IDT	84
Figura 26 - Gráfico representativo da sensação de conforto térmico para os anos de 2014 a 2018 conforme índice TEV	85
Figura 27 - Correlação de <i>Pearson</i> entre Temperatura com os índices EVI, NDBI e NDVI para os anos analisados (2014-2018)	87
Figura 28 - Correlação de <i>Pearson</i> entre os índices EVI, NDBI e NDVI para os anos analisados (2014-2018)	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Albedos dos materiais urbanos	23
Tabela 2 - Características das bandas do Landsat 8	25
Tabela 3 - Descrição das imagens de satélite selecionadas para o estudo.....	35
Tabela 4 - Estimativa da emissividade com base no NDVI.....	38
Tabela 5 - Faixas de temperatura adotadas após reclassificação	39
Tabela 6 - Valores limites do índice de avaliação ecológica (UTFVI)	40
Tabela 7 - Critérios de classificação do Índice de Temperatura e Umidade	43
Tabela 8 - Faixas de classificação do índice de desconforto térmico	44
Tabela 9 - Faixas de sensação térmica – TEV.....	45
Tabela 10 - Percentuais de temperatura distribuídos por bairros nas estações do Verão e Primavera no ano de 2015.....	61
Tabela 11 - Percentuais de temperatura distribuídos por bairros nas estações do Verão e Primavera no ano de 2018.....	62
Tabela 12 - Valores em porcentagem de ocupação para cada classe de classificação dos índices NDVI, EVI e NDBI.....	71
Tabela 13 - Índice de variação do campo térmico distribuído por bairros para o ano de 2015.....	78
Tabela 14 - Índice de variação do campo térmico distribuído por bairros para o ano de 2018.....	80
Tabela 15 - Coeficientes de correlação entre temperatura da superfície com os índices EVI, NDBI e NDVI entre os anos de 2014-2018.....	88
Tabela 16 - Coeficientes de correlação entre os índices EVI, NDVI e NDBI.....	91
Tabela 17 - Temperaturas por bairros no ano de 2015 durante o verão e a primavera ..	101
Tabela 18 - Temperaturas por bairros no ano de 2018 nas estações do verão e primavera	107
Tabela 19 - Distribuição por bairros do índice UTFVI para o ano de 2015 no verão e primavera.....	114
Tabela 20 - Distribuição por bairros do índice UTFVI para o ano de 2018 durante a	

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS.....	16
2.1 Objetivo geral.....	16
2.2 Objetivos específicos	16
3 REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1 Ilhas de calor.....	17
3.2 O clima urbano.....	18
3.3 Áreas verdes urbanas	19
3.4 Influência da vegetação no clima urbano	20
3.5 Balanço de energia na superfície terrestre	22
3.6 Geotecnologias aplicadas ao estudo de ilhas de calor	23
3.7 Índices de vegetação	26
3.7.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (<i>Normalized difference Vegetation Index</i> – NDVI).....	26
3.7.2 Índice de Vegetação Melhorado (<i>Enhanced Vegetation Index</i> – EVI).....	27
3.8 Índice de Áreas Construídas por Diferença Normalizada - NDBI.....	28
3.9 Conforto térmico no espaço urbano	28
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	30
4.1 Caracterização da área de estudo	30
4.2 Procedimentos metodológicos	31
4.2.1 Aquisição do mapa de uso e ocupação da terra.....	33
4.2.2 Análise de mudanças no uso e ocupação da terra	33
4.2.3 Estimativa sazonal da temperatura da superfície terrestre (Ts).....	35
4.2.4 Obtenção e confronto geoestatístico sazonal entre índices.....	40
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
5.1 Avaliação das mudanças ocorridas no uso e ocupação da terra	47
5.2 Distribuição espacial e temporal da temperatura da superfície terrestre	54
5.2.1 Classificação da temperatura por bairros para os anos de 2015 e 2018 nas estações do Verão e Primavera.	61
5.3 Índices de vegetação NDVI e EVI e índice de áreas construídas NDBI.....	65
5.4 Avaliação ecológica das ilhas de calor urbanas por meio do índice de variação do campo térmico	72
5.4.1 Distribuição do índice de Variação do campo Térmico (UTFVI) por bairros nos anos de 2015 e 2018.	78
5.5 Análise do Conforto térmico urbano	82
5.6 Análise de correlação de Pearson.....	86
6 CONCLUSÕES	92
7 REFERÊNCIAS	93
8 APÊNDICES	101

1 INTRODUÇÃO

A crescente urbanização tem sido apontada como a principal causa da redução da cobertura verde nas cidades, e conseqüentemente do aumento da temperatura superficial do solo (DWIVEDI; KHIRE, 2018). Devido ao rápido processo de urbanização no território brasileiro, associado ao crescimento populacional desenfreado, muitas cidades expandiram-se com a ausência de um planejamento urbano adequado, sem a presença de políticas públicas que visassem atingir um bom nível de qualidade ambiental urbana (ORTIZ; AMORIM, 2012).

Diante dessas constantes modificações realizadas para habitação do território, onde áreas compostas por vegetação foram substituídas por materiais e equipamentos urbanos, as cidades passaram a apresentar um clima próprio no que se refere as condições térmicas e de umidade do ar, resultando em um aumento da temperatura. De acordo com Gunawardena, Wells e Kershaw (2017) as atividades humanas nas cidades resultam em emissões antrópicas que têm o potencial de aumentar a quantidade de energia térmica liberada para o clima urbano, enquanto as características meteorológicas, urbanas e geográficas servem para variar a intensidade e distribuição desta liberação, ocasionando uma diferença de temperatura nas cidades.

Essa diferença de temperatura encontrada nos centros urbanos é conhecida como ilhas de calor, fenômeno no qual as cidades se tornam locais mais quentes em relação a áreas suburbanas vizinhas. Isso ocorre devido à alta absorção de radiação pelos elementos constituintes da paisagem, sendo que conforme as cidades vão se expandindo as ilhas de calor tendem também a ficarem mais intensas. Apresentam uma série de implicações tanto no conforto quanto na saúde da população, e por conta disso vem sendo apontada como uma das grandes preocupações dos gestores nos grandes centros urbanos (GARTLAND, 2010; PERES et al., 2018).

O fenômeno, surge nas cidades mais urbanizadas como fonte de muitos problemas ambientais e agrava o ambiente de vida nas cidades. Sob os desafios do aumento da urbanização e futuras mudanças climáticas, há uma necessidade premente de estratégias sustentáveis de adaptação/mitigação dos efeitos (YANG; WANG; KALOUSH, 2015).

Em contrapartida, estudos recentes têm demonstrado que a presença de áreas verdes no ambiente urbano, como as florestas, parques e arborização atuam

na melhoria das condições climáticas, reduzindo o efeito das ilhas de calor contribuindo na melhoria do microclima urbano (WONG; YU, 2005; ARMSON; STRINGER; ENNOS, 2012; MORAKINYO et al., 2017; ACERO; GONZÁLEZ-ASENSIO, 2018). De acordo com Dimoudi e Nikolopoulou (2003), a presença da vegetação gera um fenômeno conhecido como ilha de amenização, que caracteriza-se por ser o oposto das ilhas de calor, onde a vegetação presente apresenta diversos benefícios sendo capaz de proporcionar maior conforto térmico.

A importância de estudos relacionados a mitigação das ilhas de calor e formas de amenização estão cada vez mais crescentes, uma vez que estamos diante de um cenário de mudanças climáticas globais. Assim, estudar o clima urbano e entender sua dinâmica nos ambientes urbanizados permite levantar questionamentos relacionados aos impactos futuros dessas mudanças e como podem influenciar às cidades, auxiliando dessa forma na busca de processos adaptativos e modificações visando qualidade de vida para a população (SOUZA; SILVA, 2017).

Para medir o efeito das ilhas de calor, uma das formas que tem sido bastante utilizada em diversos estudos é a aplicação do sensoriamento remoto com a finalidade de estimar a temperatura da superfície terrestre. Por ser uma tecnologia que incorpora dados de diversos satélites com diferentes resoluções espectrais, espaciais e temporais, vem sendo amplamente utilizada e tem sido bem sucedida possibilitando o monitoramento em grande escala das ilhas de calor (SHIRANI-BIDABADI et al., 2019). Em estudos de monitoramento da vegetação por exemplo, o sensoriamento remoto é uma das técnicas mais utilizadas na atualidade, principalmente no que diz respeito ao seu comportamento espacial (GUEDES; SILVA, 2018).

Ademais, conforme apontam Armson, Stringer e Ennos (2012), se a perda da vegetação urbana é capaz de aumentar o efeito das ilhas de calor e o acréscimo da vegetação poderá reduzir seus efeitos, justifica-se pesquisar e quantificar os efeitos do resfriamento promovido pela vegetação urbana.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar a distribuição espacial e temporal das ilhas de calor urbanas e a influência das áreas verdes na formação dos microclimas urbanos no município do Rio de Janeiro, Brasil.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar as mudanças ocorridas no uso e ocupação da terra no período de 2014-2018.
- Realizar a estimativa sazonal da temperatura da superfície terrestre (Ts) para o período de estudo (2014-2018);
- Analisar o nível de conforto térmico da população através dos índices de temperatura e umidade (ITU), índice de desconforto térmico (IDT) e o índice de temperatura efetiva em função do vento (TEV);
- Gerar e confrontar sazonalmente os índices de vegetação (NDVI e EVI), área construída (NDBI); além da temperatura da superfície terrestre (Ts);

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Ilhas de calor

O processo de urbanização pode ser responsável pela alteração do equilíbrio térmico de um local, ocasionando um fenômeno chamado de ilhas de calor, onde as cidades podem ser mais quentes que as zonas rurais circundantes. Esse aumento exacerbado de calor pode tornar as cidades locais desconfortáveis e, durante as ondas de calor, podem representar sérios riscos para a saúde da população (ARMSON; STRINGER; ENNOS, 2012).

De acordo com Gartland (2010), são diversos os fatores que contribuem para o aquecimento das cidades e formação dessas ilhas de calor, destacando como principais causas as características listadas a seguir:

- Falta de vegetação: ocasiona a redução da evaporação. A evaporação é a energia transmitida a partir da superfície terrestre em forma de vapor d'água;
- Utilização difundida de superfícies impermeáveis: contribuem com a diminuição da evaporação;
- Maior difusividade térmica dos materiais urbanos: são responsáveis pelo aumento de armazenamento de calor;
- Baixa refletância solar dos materiais urbanos: aumentam o saldo de radiação;
- Geometrias urbanas que aprisionam o calor: geram aumento do saldo de radiação;
- Geometrias urbanas que diminuem a velocidade dos ventos: reduzem a convecção;
- Aumento dos níveis de poluição: contribuem para o aumento do saldo de radiação;
- Aumento da utilização de energia: aumenta o calor antropogênico, ou seja o calor produzido pelo homem que é gerado nos edifícios, equipamentos ou pessoas.

3.2 O clima urbano

As condições atmosféricas geradas por meio das interações entre a superfície urbanizada e o ar que circula na camada limite, nas escalas meso e microclimáticas, constituem o chamado clima urbano. Sendo que a implantação dos centros urbanos com os mais distintos usos e ocupações do solo levam a formação de microclimas nem sempre agradáveis para os habitantes, devido sobretudo ao aprisionamento de calor (GHENO; FRANÇA; MAITELLI, 2012).

Esse clima urbano, considerado como a alteração do clima local decorrente do processo de urbanização, é produto da ação do homem sobre o meio ambiente. É possível constatar diferenças consideráveis nos elementos climáticos conforme a influência da cobertura do solo, no que diz respeito à alteração no fluxo de matéria e energia sobre a atmosfera local (NASCIMENTO; OLIVEIRA, 2012).

Os principais materiais encontrados nos centros urbanos como o asfalto, cimento e telhas, têm uma capacidade de reter e dissipar calor muito maior que a vegetação da floresta e outras características naturais que foram cada vez mais deslocadas dentro das regiões metropolitanas. Como resultado, as estruturas urbanas absorvem uma grande quantidade de energia térmica durante as horas do dia e lentamente reemitem esse calor armazenado no final da tarde e durante a noite (STONE; RODGERS, 2001; ANDRADE et al., 2016).

O efeito da ilha de calor é mais intenso em dias calmos e claros, e mais fraco em dias nublados com ventos, uma vez que uma quantidade maior de energia solar é capturada em dias claros, e ventos mais brandos removem o calor de maneira mais vagarosa, fazendo com que se torne mais intensa. A diferença de intensidade de temperatura varia ao longo do dia e da noite, pela manhã a diferença entre as áreas urbanas e rurais é geralmente menor, e vai aumentando ao longo do dia conforme as superfícies urbanas se aquecem e esquentam o ar, sendo que a intensidade da ilha de calor normalmente ocorre no período noturno, uma vez que as superfícies continuam a liberar calor e diminuem o arrefecimento durante esse período (GARTLAND, 2010).

Portanto o efeito das ilhas de calor urbanas tornou-se uma das principais ameaças para o bem-estar das cidades desenvolvidas nos últimos anos, como resultado do aumento da urbanização (JATO-ESPINO, 2019). Uma das formas de amenizar esses efeitos negativos proporcionando maior conforto térmico nas áreas urbanas é a manutenção e preservação das áreas verdes, sejam florestas urbanas,

parques e praças arborizadas, uma vez que as mesmas contribuem para amenizar as temperaturas em sua área de influência. Sendo assim, é importante a adoção de medidas para aumentar e distribuir melhor as áreas com vegetação nas cidades (GHENO; FRANÇA; MAITELLI, 2012).

3.3 Áreas verdes urbanas

Considera-se área verde qualquer área, de propriedade pública ou privada, que apresente algum tipo de vegetação (não só árvores) com dimensões vertical e horizontal significativas e que sejam utilizadas com objetivos sociais, ecológicos, científicos ou culturais. O termo “área verde” costuma ser substituído, na literatura, por denominações como “áreas livres” ou “espaços livres” sendo o termo “livre” normalmente utilizado para expressar que a área está fora do processo de urbanização (PAIVA; GONÇALVES, 2002).

Essas áreas verdes podem assumir diversas formas no contexto urbano, incluindo, por exemplo: florestas urbanas, parques, árvores de rua, jardins privados, margens de corredores de transporte, telhados e fachadas com vegetação. Todos os tipos de espaço verde fornecem serviços ecossistêmicos variados para o ambiente urbano, incluindo: escoamento superficial reduzido; alívio de cheias; drenagem sustentável; melhorias gerais de estética e bem-estar e a modificação de microclimas locais (GUNAWARDENA; WELLS; KERSHAW, 2017).

Embora alguns eventos recebam o nome de florestas urbanas, muito se fala ainda em arborização urbana. O termo floresta urbana (árvores agrupadas) é muito mais condizente, quando a ideia é referir a uma cobertura vegetal que possa trazer melhorias na qualidade de vida urbana, em contraposição à arborização urbana (árvores isoladas) cujo conceito prende mais ao indivíduo árvore, muitas vezes como mera composição estética no meio urbano (PAIVA; GONÇALVES, 2002).

No meio científico internacional, o termo empregado para caracterizar a vegetação presente nos centros urbanos é *urban forest*, traduzido como floresta urbana. No Brasil, entretanto existem divergências sobre os termos utilizados que melhor caracterizem esse tipo de cobertura de vegetação, uma vez que falta uma padronização. Neste sentido, a Sociedade Brasileira de Arborização Urbana (SBAU) desde sua fundação vem discutindo e propondo um padrão quanto ao uso de termos a fim de diminuir discrepâncias e confusões quanto aos termos frequentemente

utilizados (GRISE; BIONDI; ARAKI, 2018).

As árvores presentes nos bairros residenciais, ruas e estacionamentos, costumam ocupar uma proporção relativamente pequena de cobertura florestal urbana. Geralmente, as maiores concentrações de vegetação estão presentes nas florestas urbanas que contém árvores agrupadas em pequenos fragmentos, sendo esses normalmente encontrados em parques e reservas das cidades, ou são remanescentes de florestas rurais maiores que restaram após o processo de desenvolvimento e crescimento urbano. Esses fragmentos podem também apresentar origem advinda da sucessão ecológica em terrenos baldios (RILEY et al., 2018).

A quantidade de área verde existente dentro de uma cidade é portanto um dos indicadores da qualidade de vida dos moradores. Quanto maior é o índice de área verde de uma cidade, maior é a qualidade de vida da sua população, com relação a este aspecto (FLORENZANO, 2002).

3.4 Influência da vegetação no clima urbano

A presença da vegetação no ambiente urbano pode possibilitar a formação de pequenas ilhas climáticas de amenização permeando os ambientes construídos devido a algumas características fisiológicas da vegetação. A cobertura vegetal é responsável pela redução da temperatura do ar através do sombreamento direto das superfícies, moderando o ganho de calor solar através da evapotranspiração das plantas e a conversão da radiação solar incidente em calor latente. Além disso, a temperatura inferior resultante leva a redução da radiação de ondas longas emitidas do solo e das folhas, em oposição às superfícies duras artificiais circundantes, sujeitando assim as pessoas a uma carga radiante reduzida (DIMOUDI; NIKOLOPOULOU, 2003; NOVAIS et al., 2017).

Nas cidades, as áreas verdes funcionam como amenizadoras da temperatura de duas formas: primeiro, o processo de evapotranspiração converte a energia solar em água evaporada ao invés de calor, mantendo as temperaturas da vegetação e do ar mais baixas; e segundo, essas áreas verdes promovem sombras para as superfícies protegendo do calor do sol, mantendo essas áreas mais frescas e conseqüentemente reduzindo o calor armazenado (GARTLAND, 2010).

Conforme destacam Pinheiro e Souza (2017), em ambientes com ausência de

vegetação a exposição direta à radiação solar proporciona um aumento significativo de temperatura. Em contrapartida, a presença da vegetação é responsável por filtrar parte dessa radiação, desempenhando bem sua função de melhoria das condições térmicas no ambiente.

A vegetação é capaz de afetar o balanço térmico das cidades de forma direta e indireta. Diretamente influencia o microclima urbano por meio da redução da temperatura do ar local e da superfície, o que, por sua vez, afeta a temperatura do ar em áreas mais amplas. Também o modifica indiretamente, reduzindo a transferência de calor em espaços ocupados, reduzindo assim as cargas de resfriamento mecânico e as emissões de calor antropogênico resultantes de volta ao clima urbano (GUNAWARDENA; WELLS; KERSHAW, 2017).

As temperaturas mais elevadas ocorrem em maior proporção sobre as áreas centrais, ou seja, mais urbanizadas, as temperaturas mais brandas são mais registradas nas áreas periféricas, ou mesmo naquelas revestidas por cobertura vegetal e corpos hídricos. Isso demonstra o quanto essas áreas urbanas centrais são as mais afetadas pela intensificação do fenômeno de ilhas de calor, ao mesmo tempo que se constata o papel significativo das áreas verdes como elementos eficazes na atenuação desse problema (NASCIMENTO; OLIVEIRA, 2012).

Na cidade de São Paulo-SP foi constatado que os ambientes sem a presença de vegetação, sobretudo nas localidades dos grandes centros comerciais, apresentaram diferença de temperatura do ar superiores a 8° C em relação a áreas mais vegetadas da cidade, sendo portanto a falta de vegetação apontada como a principal causa da intensidade e distribuição das ilhas de calor (BARROS; LOMBARDO, 2016). Em Singapura foi encontrada uma diferença de 4,01° C na temperatura do ar entre uma área urbanizada e outra região suburbana bem vegetada, indicando uma forte relação entre a vegetação e amenização da temperatura (WONG; YU, 2005).

De acordo com Dimoudi e Nikolopoulou (2003) efeitos térmicos da vegetação no ambiente urbano, apontam que ela pode melhorar muito o microclima urbano, bem como atenuar o efeito das ilhas de calor, reduzindo as temperaturas do ar. Sendo esse efeito percebido não apenas dentro dos limites da área verde, portanto, o aumento da vegetação no contexto urbano pode tornar-se uma maneira eficaz de mitigar a ilha de calor e beneficiar as cidades.

3.5 Balanço de energia na superfície terrestre

A radiação solar é uma variável fundamental no estudo do ambiente térmico das cidades, sua propagação ocorre através da radiação eletromagnética em forma de ondas. O sol é o grande responsável por emitir radiação de ondas curtas, sendo que antes de aquecer a superfície das cidades, essa radiação solar passa através da atmosfera onde é refletida para o espaço e outra parte é absorvida, o restante de radiação é portanto transmitida diretamente para as superfícies terrestres. Por sua vez, a superfície terrestre reflete parte dessa radiação e absorve o restante. Essa radiação absorvida é emitida para a atmosfera através das superfícies em forma de ondas longas (WERNECK, 2018).

Essa parcela de radiação que é reemitida para a atmosfera é responsável pelo aumento na temperatura do ar e varia conforme o albedo de cada superfície, isto é, segundo a porção de radiação incidente refletida pela superfície (MASHIKI, 2012). De acordo com (OKE, 1987), a forma como as superfícies urbanas interagem com a radiação faz com que apresentem albedos variados. Sobretudo, em relação à forma como é feita a configuração da geometria urbana.

Os albedos dos materiais variam de 0 a 1, incluindo a reflexão do comprimento de ondas infravermelhas e ultravioletas. Dessa forma, uma superfície com albedo 0 indica que ocorreu absorção total da radiação solar, enquanto superfícies com albedo igual a 1 indicam refletividade total (NEIVA; CATTAE, 2014).

Os padrões de refletividade dos materiais presentes nos elementos de construção civil constituintes da paisagem urbana possuem albedos diferentes e variam conforme a cor e constituição do corpo. Dessa forma, é possível analisar e identificar quais são os materiais que refletem maiores porções de radiação solar e quais refletem em menores quantidades no ambiente urbano (VIEIRA; MACHADO, 2018). Na tabela 1 estão dispostos os albedos de alguns dos principais materiais urbanos.

Tabela 1 - Albedos dos materiais urbanos

Superfície	Albedo
Asfalto	0.05 – 0.20
Concreto	0.10 – 0.35
Gramma	0.25 – 0.30
Árvores	0.15 – 0.18
Telhado rugoso	0.10 – 0.15
Telhados de alta refletividade	0.60 – 0.70
Telhado vermelho/marrom	0.10 – 0.35
Pintura Colorida	0.15 – 0.35
Pintura Branca	0.50 – 0.90

Fonte: Adaptado da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos - EPA (2020).

Conforme apontam Santos e Lima (2016), o processo de urbanização causa modificações no ambiente e nas propriedades atmosféricas dos grandes centros urbanos, levando a consequências diretas na qualidade de vida da população. As modificações sofridas no balanço de energia da superfície, albedo, na distribuição da umidade, concentração de poluentes, radiação e na temperatura da superfície são alguns dos impactos, sendo a formação das ilhas de calor um forte indicador das alterações do clima urbano.

Dessa forma, os fluxos de energia na interface superfície terrestre-atmosfera caracterizam as trocas energéticas que determinam os regimes térmicos do solo, da vegetação e do ar atmosférico (GOMES; SANTOS; ALMEIDA, 2013).

3.6 Geotecnologias aplicadas ao estudo de ilhas de calor

As geotecnologias caracterizam-se como um conjunto de tecnologias utilizadas na coleta, análise e oferta de informação geográfica. É composta por um conjunto de poderosas ferramentas dispostas em *hardware*, *software* e *peopleware*. Podemos destacar entre as geotecnologias, o sistema de informação geográfica (SIG), sensoriamento remoto (SR), cartografia digital, sistema de posicionamento global, geoestatística e a topografia georeferenciada (ROSA, 2005).

O sensoriamento remoto configura-se como o processo de aquisição de imagens da superfície terrestre a distâncias remotas, sem que ocorra um contato físico, por meio da captação e registro da energia refletida ou emitida pelas superfícies. Graças aos diversos avanços tecnológicos, os equipamentos, plataformas e sensores, estão cada vez mais sofisticados e capazes de fornecer uma enorme e variada quantidade de informações precisas e seguras sobre fenômenos e processos da superfície terrestre, possibilitando assim uma ampla gama de possibilidade em estudos que envolvam sua utilização (FLORENZANO, 2002; GUEDES; SILVA, 2018).

Dentre suas aplicações o sensoriamento remoto, é uma tecnologia que pode ser usada para medir temperaturas, bem como outras características da superfície terrestre como, presença da vegetação, pavimentos, e solo exposto, por meio da medição de energia refletida e emitida a partir deles. Apresenta uma grande vantagem atrelada ao fato que os satélites encontram-se em constante circulação ao redor da Terra, geralmente passando sob uma mesma área duas vezes ao dia, possibilitando assim que características térmicas durante o dia e a noite possam ser comparadas, e as variações sazonais podem ser examinadas (GARTLAND, 2010).

Para aquisição de informações em áreas de grande escala o sensoriamento remoto é uma excelente ferramenta, sendo utilizado em estudos que envolvam tanto questões de escala global a regional, como desenvolvimento econômico, formas urbanas, estados de vegetação entre outros. Em estudos com o objetivo de estimar a temperatura da superfície terrestre uma das grandes vantagens da utilização de dados provenientes de satélites é o seu poder de visualizar temperaturas em grandes áreas, em fluxo contínuo de alta frequência espaço-temporal (HUANG; LU; SELLERS, 2007; LIU, 2015).

A temperatura da superfície terrestre está diretamente ligada à estimativa de fluxos de radiação onda longa e indiretamente ligada à dos fluxos de balanço de energia da superfície. Essas temperaturas podem ser adquiridas por meio dos sensores das bandas de infravermelho termal (*Thermal Infra Red – TIR*), que fundamentam-se no princípio de que toda matéria emite uma radiação eletromagnética e possui um espectro contínuo e singular (LIU, 2015).

Existem diversas fontes de dados provenientes de satélites infravermelhos com sensores remotos térmicos disponíveis para utilização no estudo da temperatura do solo, em diferentes resoluções, como o sensor *MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)* a bordo dos satélites Terra/Aqua, o satélite

Landsat com os sensores TM/ETM+ (*Thematic Mapper/Enhanced Thematic Mapper*), TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) e o sensor ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) do satélite Terra, sendo que dentre esses para os estudos de temperatura da superfície terrestre o sensor termal do satélite Landsat tem sido o mais utilizado devido à sua alta cobertura espacial e resolução, outra vantagem é a aquisição gratuita das imagens no site do serviço geológico americano *US Survey* (RASUL; BALZTER; SMITH, 2015; FU; WENG, 2016).

O satélite Landsat-8 é o mais recente de sua série, foi lançado no dia 11 de fevereiro de 2013 a partir da base aérea de Vandenberg no estado da Califórnia (EUA). Opera a uma altitude de 705 km, em órbita heliosíncrona. A cobertura das imagens é de praticamente todo o globo, com período de revisita de 16 dias com um tempo de cruzamento equatorial às 10:00 horas da manhã com diferença de 15 minutos para mais ou para menos, o tamanho aproximado da cena é de 170 km ao norte-sul por 183 km a leste-oeste (USGS, 2019).

A plataforma Landsat-8 opera com dois instrumentos imageadores: *Operacional Terra Imager (OLI)* e *Thermal Infrared Sensor (TIRS)*. Produtos *OLI* consistem em nove bandas espectrais incluindo a banda pancromática. O sistema imageador *Thermal Infrared Sensor (TIRS)*, apresenta duas bandas espectrais no *pixel* de 100 metros sendo úteis no fornecimento de temperaturas da superfície mais precisas (USGS, 2019). Na Tabela 2 estão listadas as características das bandas.

Tabela 2 - Características das bandas do Landsat 8

Bandas	Características	Comprimento de onda (µm)	Resolução Espacial (metros)
1	Visível Ultra-Azul	0,43 0,45	30
2	Visível Azul	0,45 0,51	30
3	Visível Verde	0,53 0,59	30
4	Visível Vermelha	0,64 0,67	30
5	Infravermelho Próximo	0,85 0,88	30
6	Infravermelho Médio/SWIR	1,57 1,65	30
7	Infravermelho Médio/SWIR	2,11 2,29	30
8	Pancromática (PAN)	0,50 0,68	15
9	Cirrus	1,36 1,38	30
10	Infravermelho Termal/TIRS	10,6 11,19	100
11	Infravermelho Termal/TIRS	11,5 12,51	100

Fonte: Serviço Geológico Americano (2019).

3.7 Índices de vegetação

Diversos índices de vegetação têm sido propostos na literatura com o objetivo de explorar as propriedades espectrais da vegetação, especialmente nas regiões do visível e do infravermelho próximo. Estes índices são relacionados a parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, como biomassa e índice de área foliar, além de minimizarem os efeitos de iluminação de cena, declividade da superfície e geometria de aquisição que influenciam os valores de refletância da vegetação (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012).

De acordo com Liu (2015) os índices são obtidos por meio de várias combinações matemáticas das reflectâncias em várias faixas espectrais da radiação eletromagnética. O objetivo é utilizar os índices para discriminar o que é vegetação e não vegetação, sua aplicação no monitoramento e na discriminação de usos do solo na superfície terrestre apresentam diversas vantagens listadas a seguir:

- Os dados referentes aos índices de vegetação são calculados com os dados de reflectância das várias faixas espectrais da energia de radiação eletromagnética;
- Os valores relativos compensam a variação de intensidade da radiação;
- Corrigem parcialmente os efeitos das variações locais das condições atmosféricas e das variações de ângulo de visada de sensores e ângulos solares, considerando esses efeitos na variação da reflectância recebida pelos sensores nas bandas que compõem os índices são da mesma magnitude.

3.7.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized difference Vegetation Index* – NDVI)

O NDVI consiste em um índice que envolve a razão entre a diferença e a soma das bandas do infravermelho próximo e vermelho, os valores variam entre -1 a +1, sendo que valores elevados correspondem a áreas com maior densidade de vegetação, enquanto os valores menores representam áreas com menor quantidade de vegetação. O NDVI é calculado a partir da subtração da banda referente ao infravermelho próximo e a banda do vermelho, dividido pela soma das mesmas (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012). O cálculo é realizado de acordo com a Equação 1, proposta por Rouse et al., (1973):

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que,

NDVI: índice de vegetação por diferença normalizada (adimensional);

NIR: banda 5 - reflectância na banda do infravermelho próximo (adimensional);

R: banda 4 - reflectância na banda do vermelho (adimensional).

Como ferramenta para o monitoramento de vegetação, o NDVI é utilizado para construir perfis sazonais e temporais das atividades da vegetação, permitindo comparações interanuais. Trata-se de um índice amplamente utilizado em diferentes abordagens em estudos de culturas agrícolas, florestais e climáticos (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012).

3.7.2 Índice de Vegetação Melhorado (*Enhanced Vegetation Index* – EVI)

É um índice que foi desenvolvido buscando otimizar o sinal da vegetação, melhorando a sensibilidade de sua detecção para regiões com maiores densidades de biomassa, e para reduzir a influência do sinal do solo e da atmosfera sobre a resposta do dossel (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012). O EVI é calculado por meio da equação de Justice et al., (1998).

$$EVI = G \times \frac{P_{IVP} - P_{VER}}{P_{IVP} + (C_1 \times P_{VER} - C_2 \times P_{AZL}) + L} \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que,

P_{IVP} : representa a reflectância na região do Infravermelho próximo;

P_{VER} : representa a reflectância na região do vermelho;

P_{AZL} : representa a reflectância na região do azul;

C_1 e C_2 : são coeficientes de ajuste para os efeitos de aerossóis na atmosfera;

L: é o fator de ajuste do solo;

G: é o fator de ganho ajustado.

3.8 Índice de Áreas Construídas por Diferença Normalizada - NDBI

O NDBI é um índice que pode descrever as informações de áreas construídas e urbanizadas. É expresso pela Equação 3, sendo resultado da diferença normalizada entre as bandas do infravermelho próximo e infravermelho médio (ZHA; GAO; NI, 2003).

$$\text{NDBI} = \frac{\text{MIR} - \text{NIR}}{\text{MIR} + \text{NIR}} \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que,

NDBI: índice de áreas construídas por diferença normalizada;

MIR: banda 6 - infravermelho médio;

NIR: banda 5 - infravermelho próximo.

O resultado desse índice é uma imagem que contém somente pixels das áreas construídas e estéreis que apresentam valores positivos, de modo que todas as outras classes de cobertura terrestre apresentam valores de zero ou -254 (JENSEN, 2009).

3.9 Conforto térmico no espaço urbano

Um ambiente externo é considerado confortável quando ocorre uma neutralidade térmica percebida pelas pessoas, não havendo necessidade de acréscimo ou decréscimo de calor (LAMBERTS; XAVIER, 2013). A definição de conforto térmico pode ser entendida pelo lado pessoal, relacionada ao metabolismo e vestuário, e pelo lado ambiental relacionada a variáveis ambientais. Do ponto de vista humano, o conforto está associado à condição psicológica que expresse satisfação com o ambiente térmico. Em contrapartida, ao ponto de vista ambiental cômodo é o ambiente onde exista uma harmonia entre o homem e o meio ambiente, cujas condições admitam a manutenção da temperatura corporal sem a necessidade do estabelecimento de mecanismos termorreguladores (NÓBREGA; LEMOS, 2011).

De acordo com Frota e Schiffer (2003) a sensação de conforto térmico ocorre quando as trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente acontecem sem maior

esforço, sendo percebida uma sensação de bem-estar. Entretanto, caso as condições estejam adversas levando a sensação de calor ou frio extremos, será necessário para o organismo um esforço adicional que poderá influenciar diretamente na qualidade de vida e na saúde do indivíduo.

O excesso de temperaturas sejam elas de calor ou frio afetam portanto o bem-estar da população, podendo acarretar em alterações no estado geral de saúde, exercendo influências significativas no desempenho das pessoas. Nesses casos, em que as trocas de calor entre o corpo e o meio ambiente são prejudicadas, diz-se que o estado na qual a pessoa está submetida é de estresse térmico, sendo que a permanência prolongada nessas condições adversas pode facilitar a ocorrência de doenças complexas, como problemas respiratórios e cardiovasculares (CARVALHO et al., 2014).

As variáveis ambientais temperatura do ar e a umidade, assim como a ação do vento, características essas que podem ser alteradas pela presença humana, são fatores importantes que atuam na sensação de desconforto sentida pelo corpo humano. Outra questão importante intimamente relacionada ao conforto são as condições climáticas da região habitada, uma vez que a temperatura e a umidade relativa do ar apresentam comportamentos diferentes conforme o clima específico de cada local (GOMES, M. A. S.; AMORIM, 2003; VIANA; AMORIM, 2013).

Pesquisas de análise do conforto térmico, são relacionadas a uma série dessas variáveis ambientais que apresentam uma relação direta com o nível de conforto térmico percebido no ambiente. Na avaliação do conforto térmico normalmente são utilizadas e relacionadas algumas dessas variáveis, existindo uma quantidade significativa de métodos e técnicas para quantificar e avaliar os seus efeitos, contudo, cada técnica considera diferentes variáveis e elementos, de acordo com o objetivo da pesquisa (FANTE; DUBREUIL; SANT'ANNA NETO, 2017).

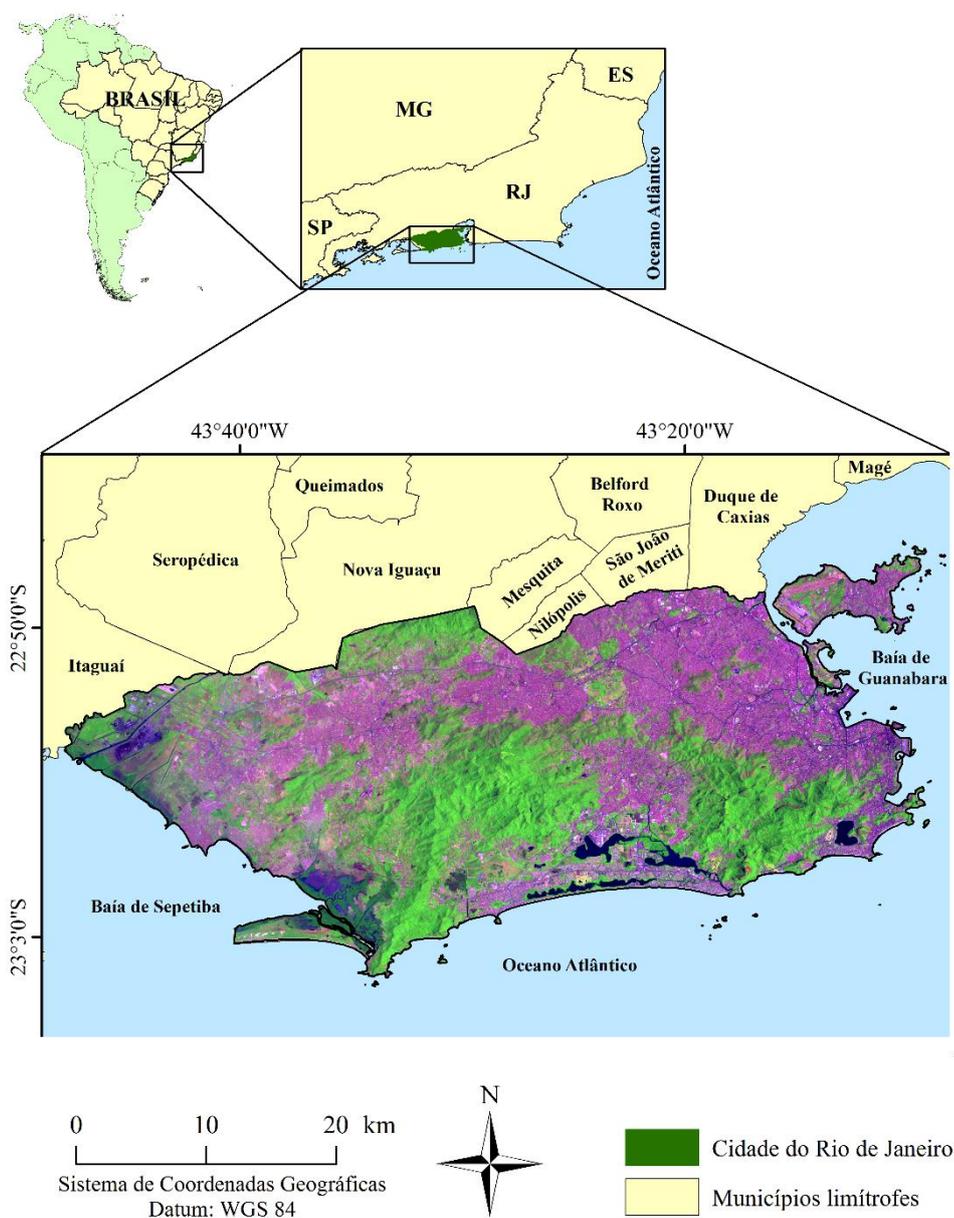
Segundo Gobo et al., (2018) durante décadas diversos pesquisadores buscaram meios de prever a sensação térmica das pessoas em seus ambientes, como resultado diversos modelos matemáticos que simulam a resposta térmica foram desenvolvidos. É notória a importância do conhecimento destas questões, uma vez que possibilitam o planejamento de medidas que minimizem o desconforto térmico, como uma correta configuração dos espaços urbanos por exemplo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

A cidade do Rio de Janeiro, Brasil, com área total de 1.255,3 Km², está localizada entre as coordenadas geográficas 22°44'54" e 23°04'43" de latitude Sul e 43°05'22" e 43°47'59" de longitude Oeste (Figura 1).

Figura 1 - Localização da cidade do Rio de Janeiro, Brasil



Fonte: a autora.

O clima da cidade de acordo com a classificação climática proposta por Köppen, apresenta cinco tipos climáticos sendo: Af, clima tropical úmido; Am, clima tropical úmido ou subúmido; Aw, clima tropical com inverno seco; Cfa, clima temperado úmido com verão quente; Cfb, clima temperado úmido com verão temperado (ALVARES et al., 2013).

A temperatura média da região é de 23,8 °C durante o ano, com máxima de 42 °C em dezembro e mínima de 21 °C em julho (INMET, 2019). Em relação as características do espaço físico, a cidade apresenta duas unidades bem distintas, as áreas declivosas e as terras baixas, que em conjunto representaram um grande desafio para crescimento e desenvolvimento urbano da cidade (LUCENA et al., 2013).

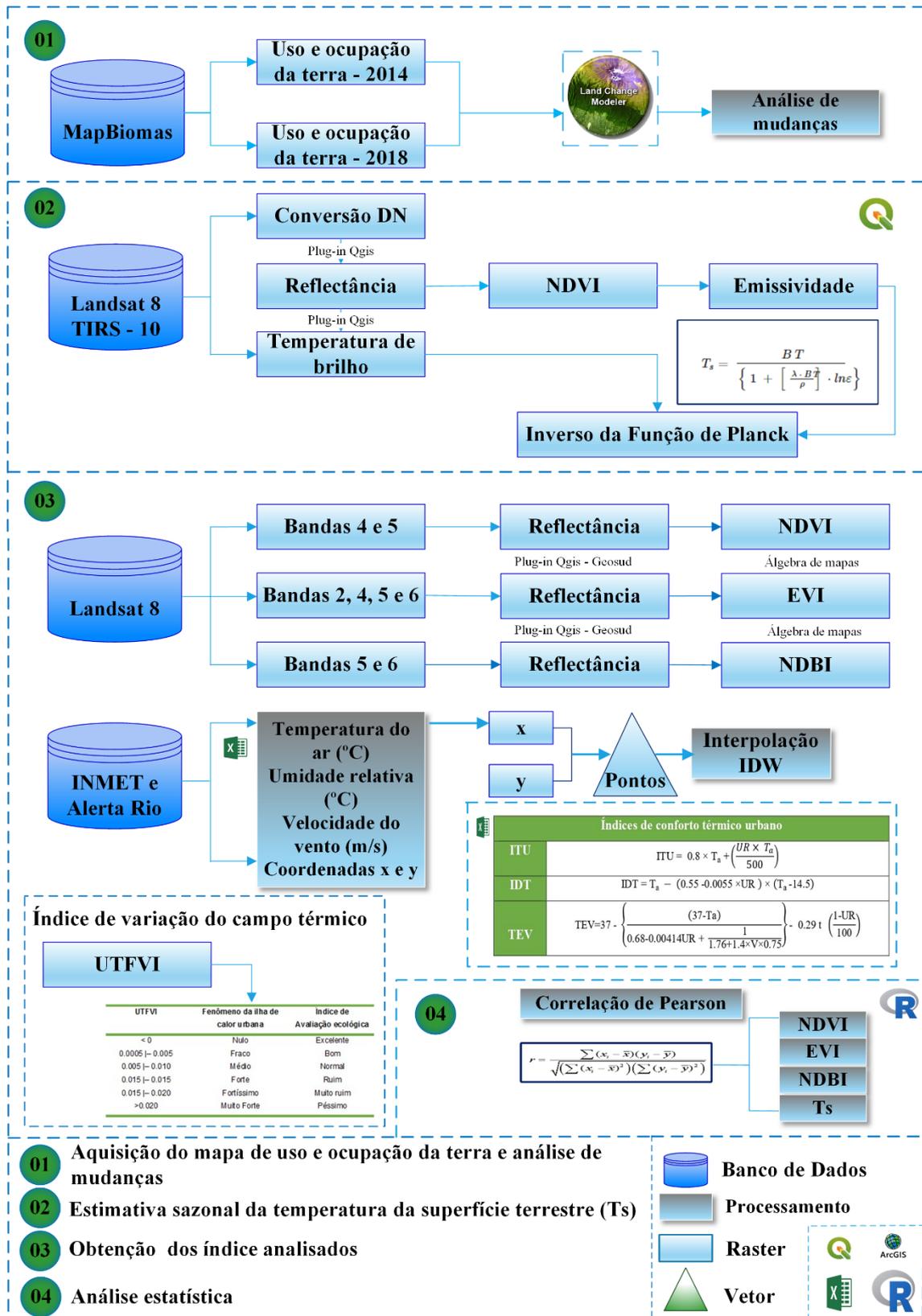
A vegetação predominante é a Floresta Atlântica, que é o segundo maior bioma brasileiro sendo considerada um *hotspot* mundial, ou seja, uma área que possui um alto grau de diversidade e endemismo, entretanto se encontra extremamente vulnerável ecologicamente (MYERS et al., 2000). Segundo Sartori et al., (2018), a cidade do Rio de Janeiro detém duas das maiores florestas urbanas do mundo. A primeira, é representada pelo Parque Estadual da Pedra Branca (maior floresta urbana do mundo) com cerca de 12.300 ha. A segunda é representada pelo Parque Nacional da Tijuca, que apresenta em seu interior a floresta da Tijuca, com aproximadamente 4.000 ha.

De acordo com os resultados do Censo populacional divulgado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, referente ao ano de 2018 (IBGE, 2019) a população estimada para a cidade do Rio de Janeiro é de 6.688.927.000 habitantes, com uma densidade demográfica de 5.265,82 habitantes/km². Atualmente, a cidade encontra-se dividida em 32 regiões administrativas com 162 bairros.

4.2 Procedimentos metodológicos

A seguir, é apresentado o fluxograma metodológico contendo uma síntese de todas etapas desenvolvidas nesta pesquisa:

Figura 2 - Fluxograma metodológico contendo resumo de todas etapas empregadas no estudo



Fonte: a autora.

4.2.1 Aquisição do mapa de uso e ocupação da terra

Os mapas de uso e ocupação da terra para os anos de 2014 e 2018 foram obtidos gratuitamente no sítio do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil – MAPBIOMAS.

Esse projeto elabora mapas de uso e cobertura da terra a partir da classificação pixel a pixel de imagens de satélite da série *Landsat* com resolução espacial de 30 metros. Todo processamento é realizado por meio de aprendizado de máquina (*machine learning*) em nuvem pela plataforma *Google Earth Engine* (MAPBIOMAS, 2019).

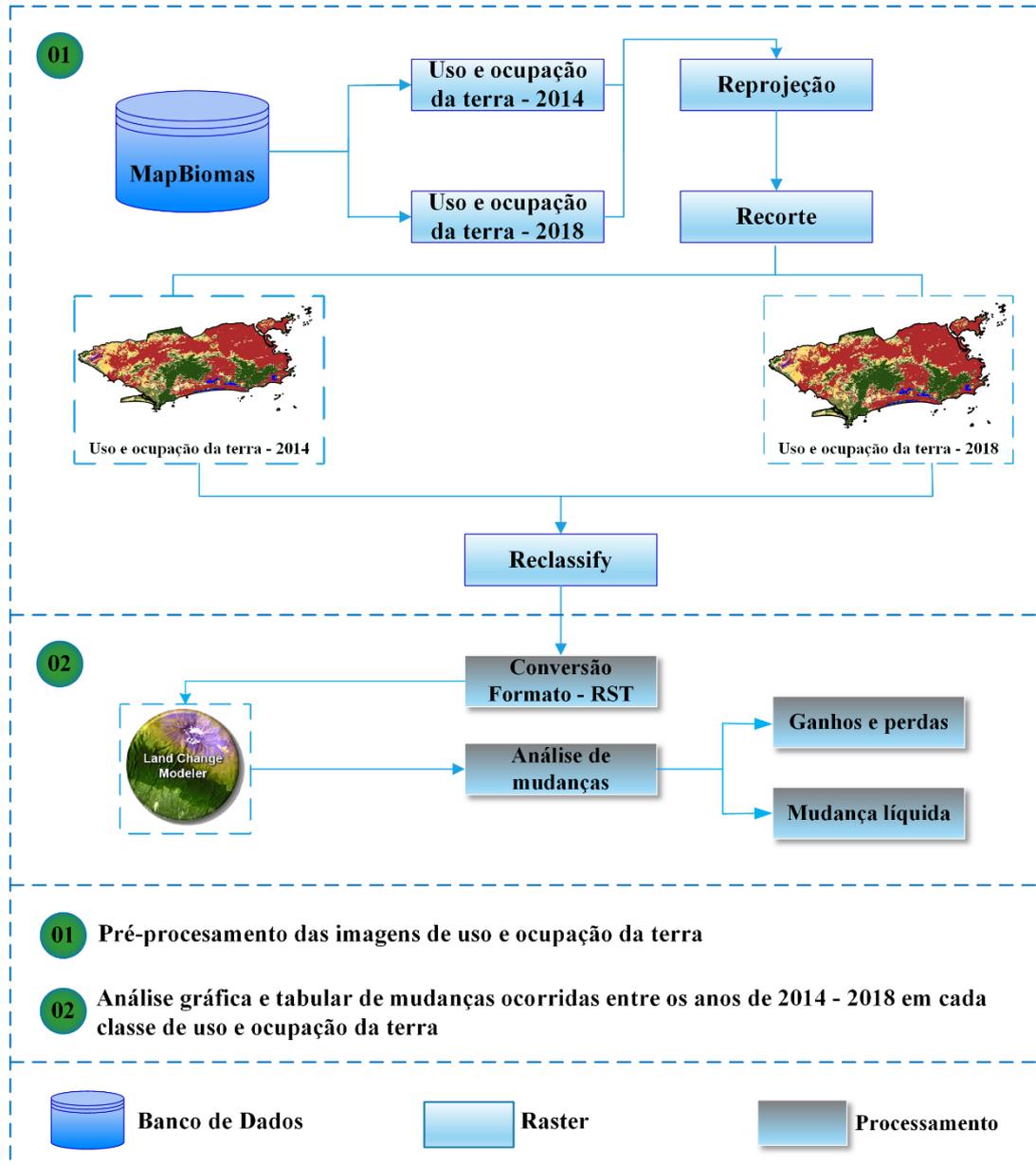
Os mapeamentos são atualizados na medida em que são aperfeiçoados os algoritmos de classificação das imagens. As coleções disponíveis na plataforma estão listadas à seguir, sendo utilizada nesse estudo a coleção 4.

- Coleção 1: (2008-2015) lançamento em abril de 2016;
- Coleção 2: (2000-2016) lançamento em abril de 2017;
- Coleção 2.3: (2000-2016) revisada e lançada em dezembro de 2017;
- Coleção 3: (1985-2017) lançamento em agosto de 2018;
- Coleção 3.1: (1985-2017) revisada e lançada em abril de 2019;
- Coleção 4: (1985-2018) lançamento em agosto de 2019.

4.2.2 Análise de mudanças no uso e ocupação da terra

Os mapas de uso e ocupação da terra obtidos foram incorporados no módulo *Land Change Modeler* (LCM) disponível no *software* Terrset para obtenção da análise gráfica e tabular dos ganhos e perdas, bem como mudanças líquidas de cada classe entre os anos de estudo. Dessa forma, foi possível realizar uma comparação em hectares e em percentual de mudanças ocorridas. Na Figura 3 está representada todas etapas realizadas.

Figura 3. Fluxograma das etapas de análises de mudanças no uso e ocupação da terra



Fonte: a autora.

4.2.3 Estimativa sazonal da temperatura da superfície terrestre (Ts)

Foram utilizadas imagens do satélite Landsat-8 TIRS/banda10, distribuídas ao longo dos últimos 5 anos (2014-2018), sendo priorizada a aquisição de imagens com a menor interferência possível de nuvens, distribuídas nas diferentes estações do ano (primavera; verão; outono e inverno) para cada ano estudado, totalizando 20 imagens. A Tabela 3 apresenta a descrição detalhada das imagens utilizadas.

Tabela 3 - Descrição das imagens de satélite selecionadas para o estudo

Produtos (ID)	Estação do ano	Data	Horário
2014			
LC08_L1TP_217076_20140125_20170426_01_T1	Verão	25/01	12:53
LC08_L1TP_217076_20140602_20170422_01_T1	Outono	02/06	12:51
LC08_L1TP_217076_20140821_20170420_01_T1	Inverno	21/08	12:52
LC08_L1TP_217076_20141024_20170418_01_T1	Primavera	24/10	12:52
2015			
LC08_L1TP_217076_20150112_20170414_01_T1	Verão	12/01	12:52
LC08_L1TP_217076_20150418_20180528_01_T1	Outono	18/04	12:51
LC08_L1TP_217076_20150808_20170406_01_T1	Inverno	08/08	12:51
LC08_L1TP_217076_20150925_20170403_01_T1	Primavera	25/09	12:52
2016			
LC08_L1TP_217076_20160131_20170330_01_T1	Verão	31/01	12:52
LC08_L1TP_217076_20160420_20170326_01_T1	Outono	20/04	12:51
LC08_L1TP_217076_20160826_20180528_01_T1	Inverno	26/08	12:52
LC08_L1TP_217076_20161013_20170319_01_T1	Primavera	13/10	12:52
2017			
LC08_L1TP_217076_20170218_20170228_01_T1	Verão	18/02	12:52
LC08_L1TP_217076_20170525_20170614_01_T1	Outono	25/05	12:51
LC08_L1TP_217076_20170728_20170810_01_T1	Inverno	28/07	12:52
LC08_L1TP_217076_20171117_20171122_01_T1	Primavera	17/11	12:52
2018			
LC08_L1TP_217076_20181222_20181227_01_T1	Verão	22/12	12:52
LC08_L1TP_217076_20180512_20180517_01_T1	Outono	12/05	12:51
LC08_L1TP_217076_20180629_20180716_01_T1	Inverno	29/06	12:51
LC08_L1TP_217076_20181003_20181010_01_T1	Primavera	03/10	12:52

Fonte: a autora.

A temperatura da superfície da terra foi obtida através do *plug-in* presente no software livre Qgis, *The Land Surface Temperature Estimation Plugin*. Esse *plug-in* possui a capacidade de extrair a temperatura de imagens termais, conforme as seguintes etapas descritas à seguir.

4.2.3.1 Conversão do número digital (DN) para radiância espectral (L_λ)

Os valores de número digital (DN) da imagem de satélite foram primeiro convertidos em radiância espectral usando a seguinte equação desenvolvida por Markham e Barker (1985):

$$L_\lambda = M_L Q_{cal} + A_L \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que,

L_λ : radiância espectral no topo da atmosfera ($W/m^2.sr.\mu m$);

M_L : fator multiplicativo reescalado da radiância para a banda específica (*radiance_mult_band_x*), onde x é número da banda;

Q_{cal} : Número Digital (ND) do pixel;

A_L : fator aditivo reescalado da radiância para a banda específica (*radiance_add_band_x*), onde x é número da banda;

4.2.3.2 Conversão de radiância espectral (L_λ) para reflectância (ρ)

Para posterior utilização nos cálculos de índices de vegetação e áreas construídas foi necessário adquirir primeiramente a reflectância das imagens, por meio da Equação 5 proposta por Markham e Barker (1985):

$$\rho_\lambda = \frac{(M_p Q_{cal} + A_p)}{\text{sen}(\theta_{SE})} \quad (\text{Eq.5})$$

Em que,

ρ : reflectância planetária corrigida no topo da atmosfera;

M_p : fator multiplicativo reescalado da reflectância para a banda específica (reflectance_mult_band_x), onde x é número da banda;

Q_{cal} : número Digital (ND) do pixel;

A_p : fator aditivo reescalado da reflectância para a banda específica (reflectance_add_band_x), onde x é número da banda;

θ_{SE} : ângulo de elevação solar local equivalente ao valor sun_elevation (graus).

4.2.3.3 Conversão de radiância espectral (L_λ) para temperatura de brilho (T)

A temperatura de brilho (T) é calculada convertendo valores de números digitais (DN). Os valores de radiância calculados podem ser convertidos para temperatura efetiva em Kelvin aplicando o inverso da função de Planck (DWIVEDI; KHIRE, 2018). O cálculo foi realizado aplicando a equação de Schott e Volchok (1985).

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (\text{Eq. 6})$$

Em que,

T: temperatura efetiva de brilho no sensor (K);

K_1 : constante termal da banda específica (k1_constant_band_x), onde x é número da banda, ou seja, das bandas 10 ou 11;

K_2 : constante termal da banda específica (k2_constant_band_x), onde x é número da banda, ou seja, das bandas 10 ou 11;

L_λ : radiância espectral no topo da atmosfera ($W/[m^2 \cdot sr \cdot \mu m]$);

L_N : logaritmo natural.

4.2.3.4 Estimativa da emissividade

A estimativa da emissividade foi realizada conforme o método proposto por Van de Griend e Owe (1993), com base nos valores encontrados para o NDVI, onde para cada tipo de uso e ocupação da terra foi atribuído um valor de emissividade baseado no intervalo do NDVI. Quando o valor do NDVI variar de 0.157 a 0.727, a relação entre a emissividade será expressa pela seguinte equação:

$$\epsilon = 1.0094 + 0.047 \times \ln(\text{NDVI}) \quad (\text{Eq. 7})$$

Para os valores de NDVI fora do intervalo de 0.157 a 0.727, foram divididos em faixas conforme demonstrado na Tabela 4 (ZHANG; WANG; LI, 2006).

Tabela 4 - Estimativa da emissividade com base no NDVI

NDVI	Emissividade da superfície
NDVI < -0.185	0.995
-0.185 ≤ NDVI < 0.157	0.970
0.157 ≤ NDVI ≤ 0.727	1.0094 + 0.047 ln (NDVI)
NDVI > 0.727	0.990

Fonte: Zhang, Wang e Li (2006).

De acordo com Dwivedi e Khire (2018), o NDVI é um índice capaz de indicar a presença de vegetação fotossinteticamente ativa em cada pixel da imagem *raster*, fornecendo dessa forma medidas de composição da superfície terrestre que podem ser utilizadas na obtenção da emissividade. Os valores baixos de vegetação proporcional indicam locais com a presença de edificações ou solos expostos, enquanto os valores mais altos revelam a presença de vegetação.

4.2.3.5 Obtenção da temperatura da superfície terrestre (Inverso da Função de Planck)

De posse de todos parâmetros anteriores, por meio da aplicação do *Inverso da Função de Planck* obteve-se a estimativa da temperatura da superfície da terra em graus Celsius para todos os anos estudados (Equação 8).

$$T_s = \frac{BT}{\left\{1 + \left[\frac{\lambda \times BT}{\rho}\right] \times \ln \epsilon\right\}} \quad (\text{Eq.8})$$

Em que,

T_s : temperatura da superfície terrestre (K);

BT: temperatura de brilho no sensor (K);

λ : comprimento de onda da radiação emitida;

ρ : é a constante ($1.438 \cdot 10^{-2}$);

ε : Emissividade da banda térmica (adimensional)

Buscando melhor visualização dos resultados as imagens de temperatura com valores variando entre temperaturas mínimas e máximas, foram reclassificadas em cinco classes conforme valores apresentados na Tabela 5, através da função *Reclassify* do programa *ArcGIS*. Dessa forma foi possível quantificar o percentual de ocupação de cada faixa de temperatura reclassificada para toda cidade.

Tabela 5 - Faixas de temperatura adotadas após reclassificação

Valor	Temperatura °C
1	< 25
2	25 - 28
3	28 - 31
4	31 - 34
5	> 34

Fonte: a autora.

4.2.3. 6 Análise de temperatura por bairro

Com base nas avaliações das temperaturas estimadas para os anos analisados, foi então selecionado o ano mais atual e o ano com registro de temperaturas mais elevadas para uma análise detalhada por bairro de temperatura.

As imagens de temperaturas da superfície reclassificadas obtidas na etapa anterior foram transformadas para o formato vetorial e juntamente com o arquivo poligonal de bairros da cidade foi aplicada a função *intersect*, assim, obteve-se as classes de temperatura para todos os 162 bairros da cidade.

Em seguida, foram calculados através da tabela de atributos a área em hectares de ocupação de cada faixa de temperatura nos bairros, esses valores foram exportados no formato de planilha (.csv) para cálculo percentual de ocupação de cada faixa de temperatura.

4.2.4 Obtenção e confronto geoestatístico sazonal entre índices

Para cada ano estudado foram avaliados sete índices de acordo com cada estação climática descritos nas etapas a seguir.

4.2.4.1 Cálculo dos índices de vegetação NDVI e EVI e áreas construídas (NDBI)

Os índices de vegetação NDVI e EVI e áreas construídas (NDBI) foram calculados conforme aplicação de suas respectivas equações por meio da função *raster calculator* (álgebra de mapas - mapemática) do *software ArcGIS 10.3*.

4.2.4.2 Índice de variação de campo térmico urbano (UTFVI)

A fim de caracterizar o efeito das ilhas de calor, foi empregado o índice de variação de campo térmico urbano (UTFVI), calculado de acordo com a equação de Zhang (2006).

$$UTFVI = \frac{T_s - T_{mean}}{T_{mean}} \quad (\text{Eq. 9})$$

Em que,

UTFVI: índice de variação do campo térmico urbano (adimensional);

T_s : temperatura da superfície terrestre (K);

T_{mean} : média da temperatura da superfície terrestre (K).

Tabela 6 - Valores limites do índice de avaliação ecológica (UTFVI)

UTFVI	Fenômeno da ilha de calor urbana	Índice de Avaliação ecológica
< 0	Nulo	Excelente
0.0005 – 0.005	Fraco	Bom
0.005 – 0.010	Médio	Normal
0.015 – 0.015	Forte	Ruim
0.015 – 0.020	Fortíssimo	Muito ruim
>0.020	Muito Forte	Péssimo

Fonte: Zhang (2006).

4.2.4.3 Avaliação do índice UTFVI por bairros

A metodologia empregada nessa análise seguiu os mesmos procedimentos metodológicos explicitados no tópico 4.2.3.6, utilizando as imagens reclassificadas do índice de variação do campo térmico obtidas na etapa anterior.

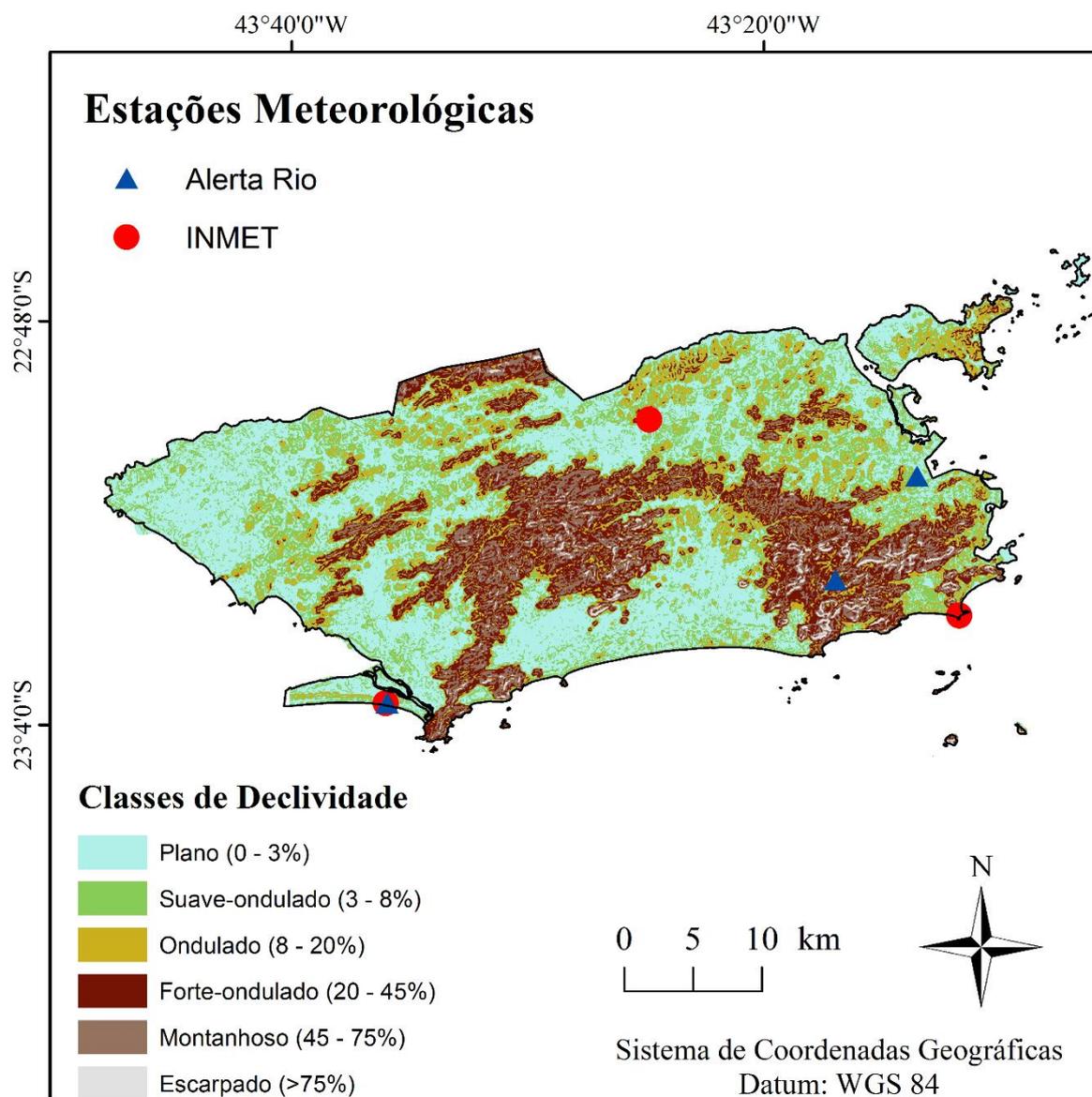
4.2.4.4 Índices de conforto térmico urbano

Foram avaliados três índices de conforto térmico urbano: o Índice de Temperatura e Umidade (ITU); Índice de Desconforto Térmico (IDT); e o Índice de Temperatura Efetiva em função do Vento (TEV). Os índices ITU e IDT estabelecem uma relação entre a temperatura média e a umidade relativa do ar, entretanto possuem níveis de conforto diferentes.

Para a estimativa dos parâmetros relacionados à extração de dados necessários para a entrada nas equações correspondentes ao cálculo de cada índice, foram utilizados os dados meteorológicos referentes a seis estações meteorológicas automáticas distribuídas na cidade do Rio de Janeiro, disponibilizados gratuitamente pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e pelo sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro.

A escolha dessas estações ocorreu pelo fato de serem, dentre as demais presentes na cidade, estações automáticas completas, ou seja, fornecem dados de temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento, variáveis necessárias para o cálculo dos índices analisados, e pela padronização dos dados com estações que fornecessem os dados para os dias e horários das imagens utilizadas na etapa anterior de espacialização da temperatura. Na Figura 4 estão dispostas as estações com suas respectivas localizações utilizadas para o estudo.

Figura 4 - Localização das estações meteorológicas utilizadas pertencentes ao Sistema Alerta Rio, e ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)



Fonte: a autora.

Os valores de temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento, juntamente com as coordenadas “X” e “Y” de cada estação para cada período de estudo (verão, outono, inverno e primavera) dos cinco anos analisados, foram importados no formato (.csv) para o ArcGIS, dando origem a arquivos de pontos. Para obtenção das médias de cada variável para entrada no cálculo dos índices de conforto os arquivos de pontos referentes a cada estação foram então interpolados

pelo método do Inverso do quadrado da distância – *IDW*. O cálculo dos índices foi então realizado com o auxílio do *software Microsoft Excel*.

4.2.4.5 Índice de Temperatura e Umidade (ITU)

O índice de temperatura e umidade (ITU) estabelece três níveis de conforto para o ambiente externo. De acordo com Barbirato, Souza e Torres (2007), este índice permite uma boa quantificação do estresse térmico nos ambientes abertos, dependendo apenas de duas variáveis ambientais: temperatura e umidade. O cálculo é realizado de acordo com a equação adotada por Nóbrega e Lemos (2011):

$$ITU = 0.8 \times T_a + \left(\frac{UR \times T_a}{500} \right) \quad (\text{Eq. 10})$$

Em que,

ITU: índice de temperatura e umidade (°C);

T_a : temperatura do ar (°C);

UR: umidade relativa do ar (%).

Os níveis de conforto térmico foram estabelecidos de acordo com os intervalos de ITU apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Critérios de classificação do Índice de Temperatura e Umidade

Faixas	ITU (°C)	Níveis de conforto
1	21 < ITU < 24	Confortável
2	24 < ITU < 26	Levemente desconfortável
3	ITU > 26	Extremamente desconfortável

Fonte: Nóbrega e Lemos (2011).

4.2.4.6 Índice de Desconforto Térmico (IDT)

O índice de desconforto térmico foi proposto por Thom (1959) sendo calculado conforme a seguinte equação:

$$IDT = T_a - (0.55 - 0.0055 \times UR) \times (T_a - 14.5) \quad (\text{Eq. 11})$$

Em que,

IDT: índice de desconforto térmico (°C);

T_a: temperatura do ar (°C);

UR: umidade relativa do ar (%).

As faixas de classificação de desconforto térmico foram consideradas de acordo com os critérios apresentados na Tabela 8, com níveis ajustados às regiões tropicais propostos por Santos et al., (2012).

Tabela 8 - Faixas de classificação do índice de desconforto térmico

Faixas	IDT (°C)	Nível de desconforto térmico
1	IDT < 24.0	Confortável
2	24 ≤ IDT ≤ 26.0	Parcialmente confortável
3	26.0 < IDT < 28.0	Desconfortável
4	IDT ≥ 28.0	Muito desconfortável

Fonte: Santos et al., (2012).

4.2.4.7 Índice de Temperatura Efetiva em função do Vento (TEV)

Esse índice se assemelha ao conceito de temperatura efetiva com base na sensibilidade individual, levando em consideração a velocidade do vento. Estabelece uma relação entre a temperatura média e a umidade relativa do ar, considerando dados de velocidade do vento, apresentando onze faixas distintas de níveis de conforto térmico. O índice pode ser expresso de acordo com a Equação 12 proposta por Missenard (1937).

$$TEV = 37 - \left\{ \frac{(37 - T_a)}{0.68 - 0.00414UR + \frac{1}{1.76 + 1.4 \times V \times 0.75}} \right\} - 0,29 t \left(\frac{1 - UR}{100} \right) \quad (\text{Eq.12})$$

Em que,

T_{EV} : temperatura efetiva em função do vento, temperatura do ar e umidade relativa ($^{\circ}C$);

T_a : temperatura média do ar ($^{\circ}C$);

UR: umidade relativa do ar (%);

V: Velocidade do vento (m/s).

Na tabela 9 estão as faixas de conforto adotadas para a análise do índice, seguindo a classificação adotada pelo laboratório de meteorologia da Universidade de São Paulo - USP.

Tabela 9 - Faixas de sensação térmica – TEV

Faixas	TEV ($^{\circ}C$)	Sensação térmica	Grau de estresse fisiológico
1	< 05	Muito Frio	Extremo estresse ao frio
2	05 -10	Frio	Extremo estresse ao frio
3	10 - 13	Moderadamente Frio	Tremer
4	13 - 16	Ligeiramente Frio	Resfriamento do corpo
5	16 - 19	Pouco Frio	Ligeiro resfriamento do corpo
6	19 - 22	Ligeiramente Fresco	Vasoconstrição
7	22 - 25	Confortável	Neutralidade térmica
8	25 - 28	Ligeiramente Quente	Ligeiro suor, vasodilatação
9	28 - 31	Quente Moderado	Suando
10	31 - 34	Quente	Suor em profusão
11	> 34	Muito Quente	Falha na termorregulação

Fonte: (Meteorologia aplicada a sistemas de tempo regionais (MASTER – IAG/USP).

4.2.4.8 Análise estatística

Para entender a influência das áreas verdes na formação dos microclimas urbanos, foi realizada a comparação entre os índices de vegetação - NDVI e EVI, área construída (NDBI) com a temperatura superficial da terra (T_s) e dos índices uns com os outros por meio da correlação de *Pearson* (Equação 13), com auxílio do *software* de análises estatísticas *RStudio*.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (\text{Eq. 13})$$

Em que,

R: Coeficiente de correlação de Pearson;

X_i: valores medidos da variável x;

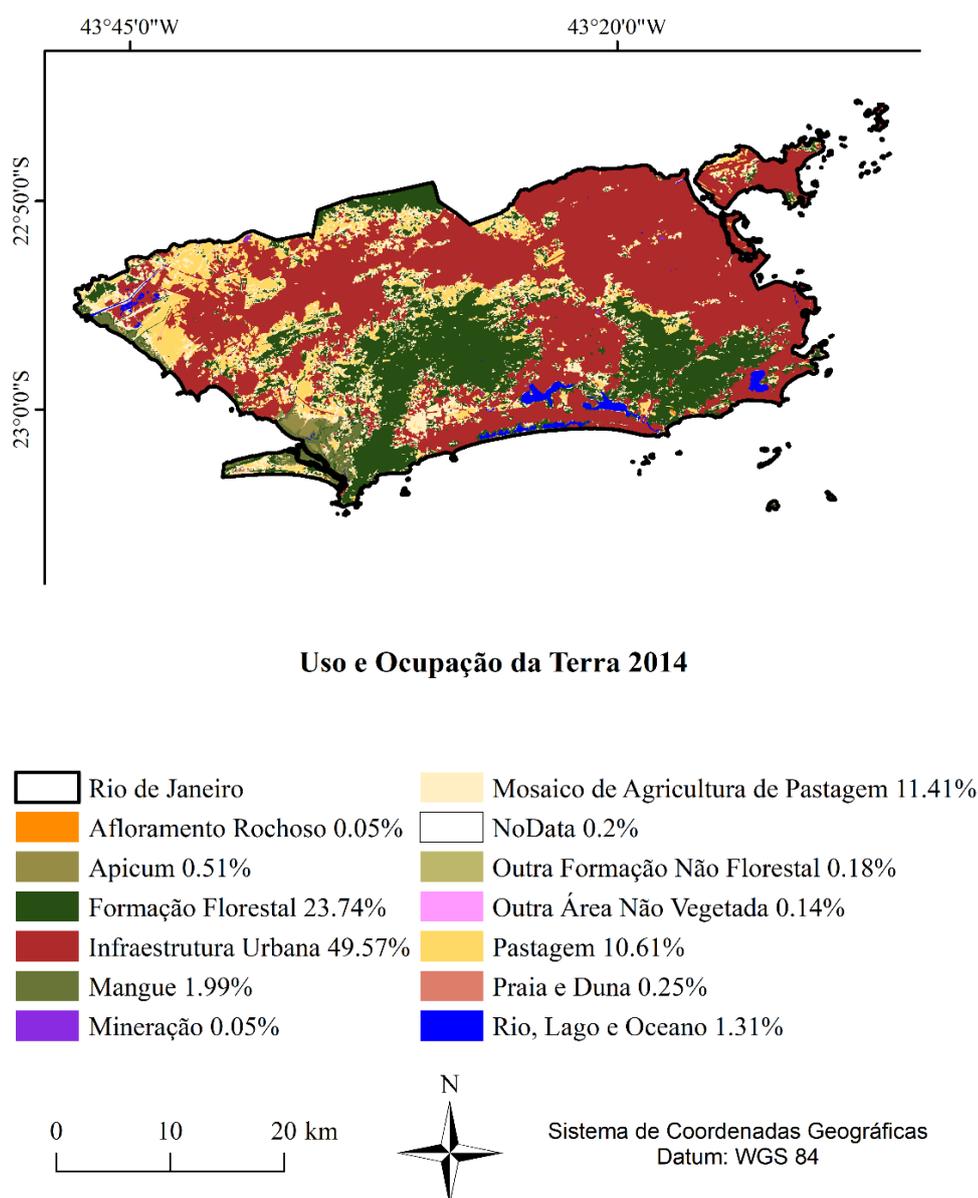
Y_i: valores medidos da variável y.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Avaliação das mudanças ocorridas no uso e ocupação da terra

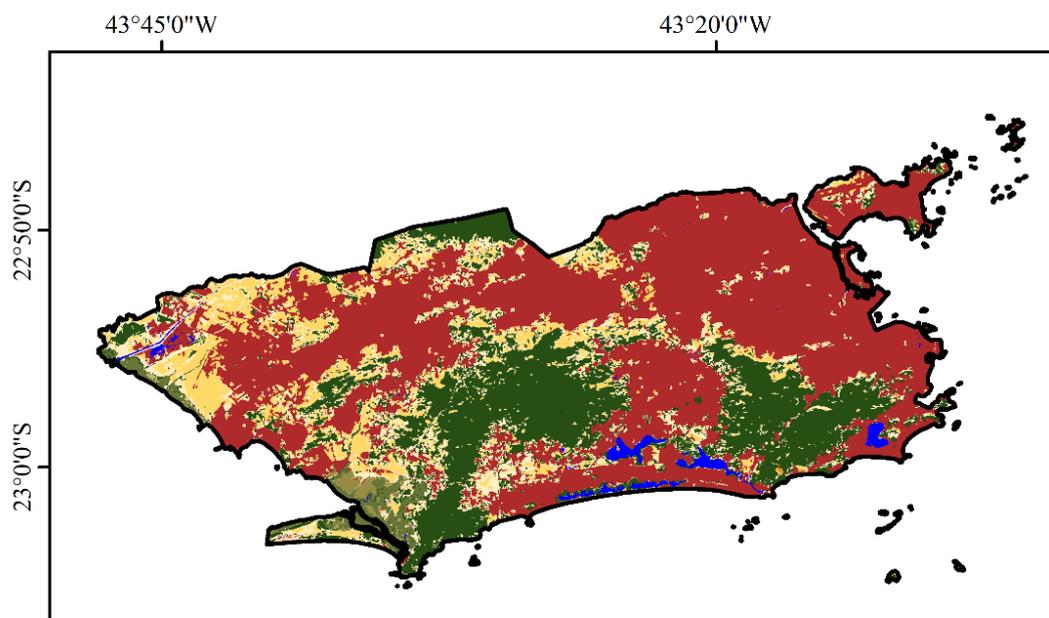
O mapeamento do uso e ocupação da terra para a cidade do Rio de Janeiro obtido através do projeto Mapbiomas para os anos de 2014 e 2018 podem ser visualizados nas Figuras 5 e 6, respectivamente.

Figura 5 - Uso e Ocupação da Terra referente ao ano de 2014 para a cidade do Rio de Janeiro, Brasil

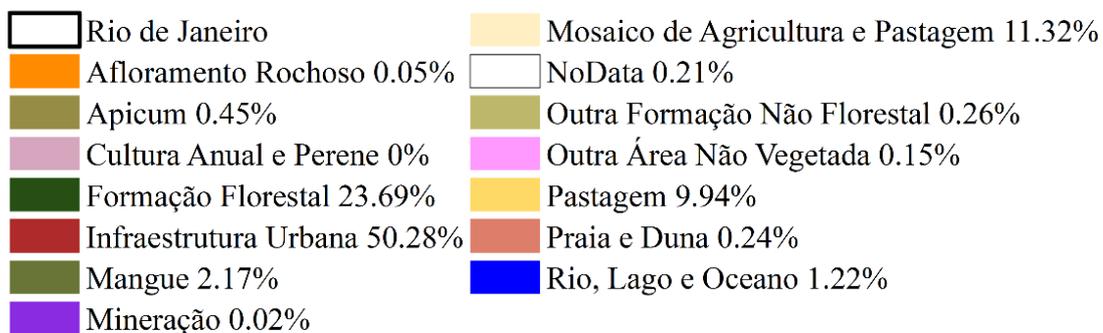


Fonte: a autora.

Figura 6 - Uso e Ocupação da Terra referente ao ano de 2018 para a cidade do Rio de Janeiro, Brasil



Uso e Ocupação da Terra 2018



0 10 20 km



Sistema de Coordenadas Geográficas
Datum: WGS 84

Fonte: a autora

Analisando os resultados das imagens de uso e ocupação da terra para a cidade, observa-se expressiva ocupação urbana entre os anos de 2014 e 2018, tendo como classe predominante a Infraestrutura Urbana para ambos os anos. Em 2014 o percentual de ocupação foi de 49.57%, enquanto para 2018 foi 50.28%, portanto, aproximadamente metade da área total da cidade é ocupada por manchas urbanas, demonstrando o expressivo processo de urbanização ocorrido na cidade.

De acordo com Lucena et al., (2013), esse padrão é explicado pelo fato de ao longo de sua história de ocupação e expansão, especialmente a partir da década de 1970 do século XX, o Estado do Rio de Janeiro desenhou-se de forma espalhada, com núcleo na cidade central, ainda devido à sua posição geográfica e processos históricos, econômicos e políticos, a cidade é hoje um grande polo de concentração populacional e atividades econômicas do país.

A segunda maior classe para ambos os anos foi a Formação Florestal, ocupando 23.74% no ano de 2014 e 23.69% em 2018. Essas formações florestais estão localizadas e distribuídas principalmente nas áreas compreendidas pelo Parque Estadual da Pedra Branca e na Floresta da Tijuca, ou seja em Unidades de Conservação. As Unidades de Conservação (UCs) são áreas com características naturais relevantes, legalmente instituídas na Lei Nº 9.985, possuem a função de assegurar representatividade de amostras significativas e ecologicamente viáveis de diferentes populações, habitats e ecossistemas (BRASIL, 2000). Expressiva densidade urbana é observada sobretudo nas regiões Norte e Centro da cidade, correspondendo também a áreas com menor presença de vegetação.

O padrão de uso e ocupação da terra ao longo dos cinco anos estudados embora apresente uma diversificação de classes, na cidade majoritariamente ocorre o predomínio das classes Infraestrutura Urbana e Formação Florestal, tendo as demais classes proporções de ocupação bem menores conforme pôde ser observado. Entretanto, essas classes em conjunto apresentam importância frente a ecologia urbana em percentual de áreas verdes. Juntas as classes, Formação Florestal, Apicum, Mangue, Pastagem, Mosaico de Agricultura e Pastagem, Outra Formação Não Florestal, ocupam um total de 47.98% em área verdes urbanas no ano de 2018.

Como forma de buscar entender e indicar a qualidade de vida proporcionada pelas áreas verdes nos centros urbanos, analisando a distribuição espacial da vegetação urbana, um dos indicadores bastante empregado para esta finalidade é o índice de área verde (IAV) que é capaz de mensurar a quantidade de área verde por

habitante em m². O cálculo do IAV leva em consideração o produto da divisão entre o somatório das áreas verdes e o número de habitantes (HENKE-OLIVEIRA, 1996; ZANIN; ROSSET; DALAVALE, 2007).

Para o município, considerando todas classes de vegetação em conjunto apresenta expressivo percentual de áreas verdes urbanas, aproximadamente 98.33 m² por habitante, valor bem superior ao recomendado pela Sociedade Brasileira de Arborização Urbana de 15m²/habitantes (SBAU, 1996). Entretanto, é importante salientar que os valores de IAV encontrados para as cidades podem variar conforme os critérios que forem adotados para distinção das áreas verdes e da metodologia utilizada em seu cálculo (LUCON; PRADO-FILHO; SOBREIRA, 2019).

Essas áreas verdes apresentam grande importância na ecologia urbana, proporcionando diversas melhorias. Na pesquisa de Kim, Gu e Kim, (2018) onde buscavam investigar a eficácia de estratégias de amenização dos efeitos das ilhas de calor, seus resultados apontaram benefícios quanto ao uso de telhados verdes, por exemplo, em edifícios minimizando os efeitos das ilhas de calor nesses locais. Ainda, constataram que aumentos nas taxas de cobertura verde seja em grama ou árvores foram eficazes na atenuação da temperatura.

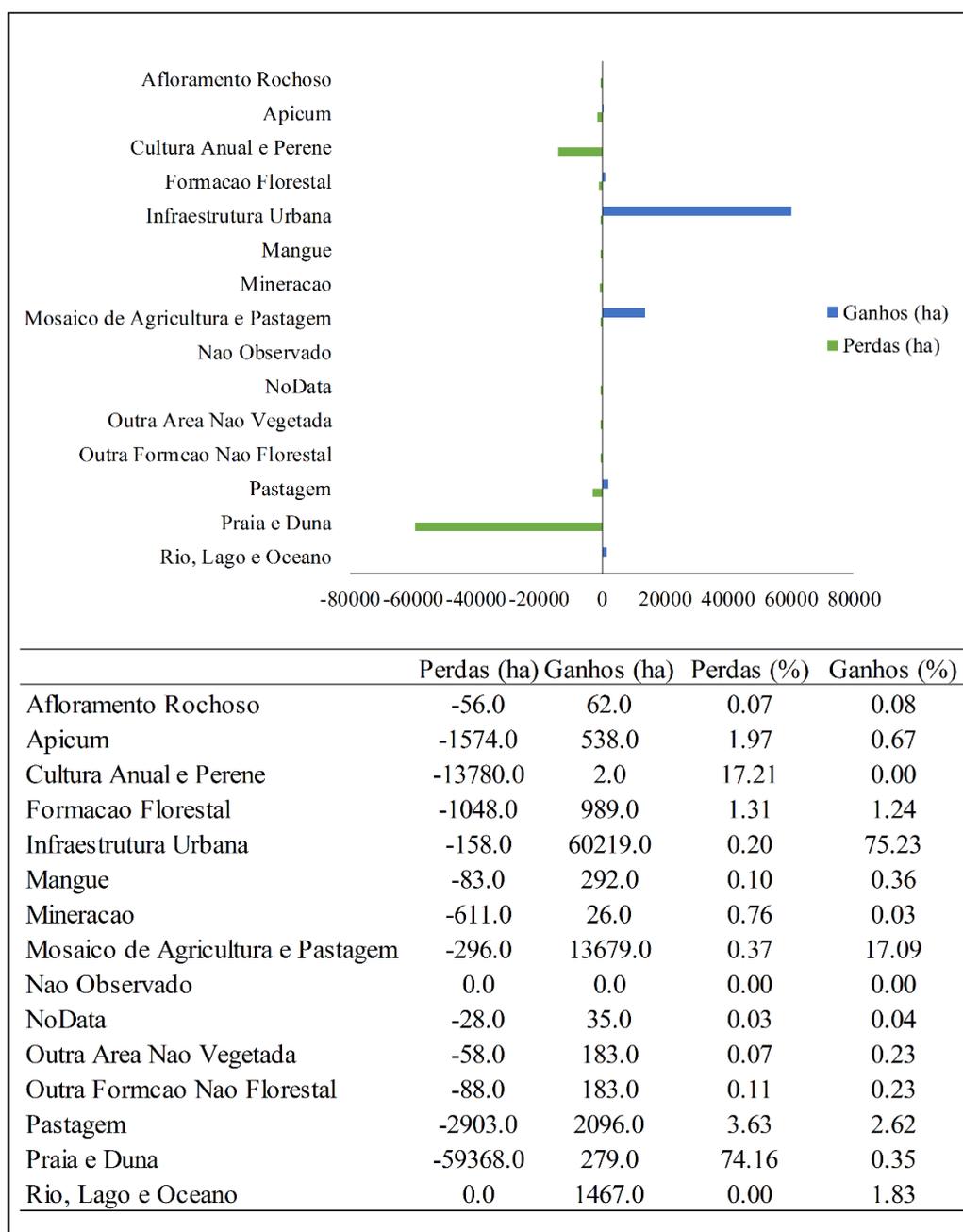
Os autores Martini e Biondi (2015), buscando entender o conforto térmico proporcionado por um fragmento de floresta urbana com outros ambientes: gramado, estacionamento e bosque de Pinus no Campus da Universidade Federal do Paraná, em todas estações do ano para a variável temperatura a maior diferença foi encontrada entre o fragmento de floresta e o gramado, seguida pelo estacionamento e bosque de pinus. Os resultados, enfatizaram a importância da conservação e manutenção das áreas verdes, pois proporcionaram melhores condições de conforto térmico.

Esses valores de áreas verdes encontrados para o município ressaltam portanto, a importância da manutenção e preservação dessas áreas, sobretudo das Unidades de Conservação presentes no município. No território municipal estão inseridas diversas Unidades de Conservação de proteção integral e de uso sustentável, destacando algumas como: Parque Nacional da Tijuca, Parque Estadual da Pedra Branca, Parque Estadual do Grajaú, Parque Estadual da Chacrinha, Reserva Biológica de Guaratiba, Área de Proteção Ambiental - APA do Gericinó-Mendanha e APA de Sepetiba II (INEA, 2020).

Dentre todas classes identificadas pouca variação de mudança foi observada, tendo apenas algumas classes sofrido mudanças expressivas, como a Infraestrutura

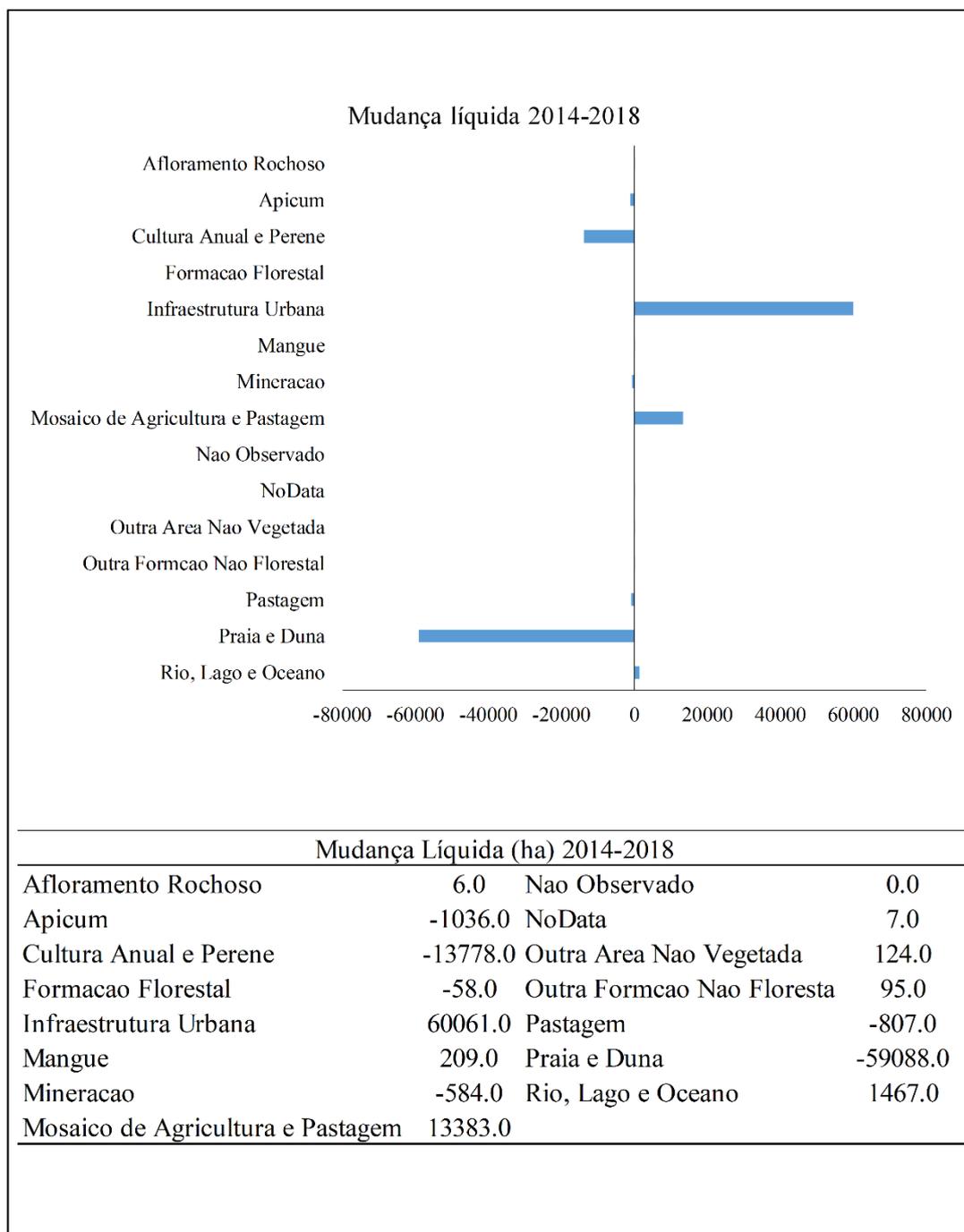
Urbana por exemplo que apresentou incremento. Essas variações de mudanças no uso e ocupação da terra podem ser melhor visualizadas nas Figuras 7 e 8 que representam a análise gráfica e tabular de ganhos (azul) e perdas (verde), e mudanças líquidas (azul) para cada classe de uso entre os anos de 2014 e 2018.

Figura 7 - Análise gráfica de ganhos e perdas no uso e ocupação da terra entre os anos de 2014 e 2018 para a cidade do Rio de Janeiro, Brasil



Fonte: a autora.

Figura 8 - Análise gráfica de mudanças líquidas no uso e ocupação da terra entre os anos de 2014 e 2018 para a cidade do Rio de Janeiro, Brasil



Fonte: a autora.

Conforme esperado, os resultados para a análise de mudanças no uso e ocupação da terra confirmam a classe Infraestrutura Urbana com maiores mudanças ao longo dos anos, apresentando um ganho em área de aproximadamente 75.23% correspondendo a 60219.0 hectares (ha), uma mudança líquida total de 60061.0 (ha). Um fato importante a ser observado nessa análise de mudanças é a expressiva perda na classe Praia e Duna, correspondendo a uma perda total de 59368.0 (ha) cerca de 74.16%.

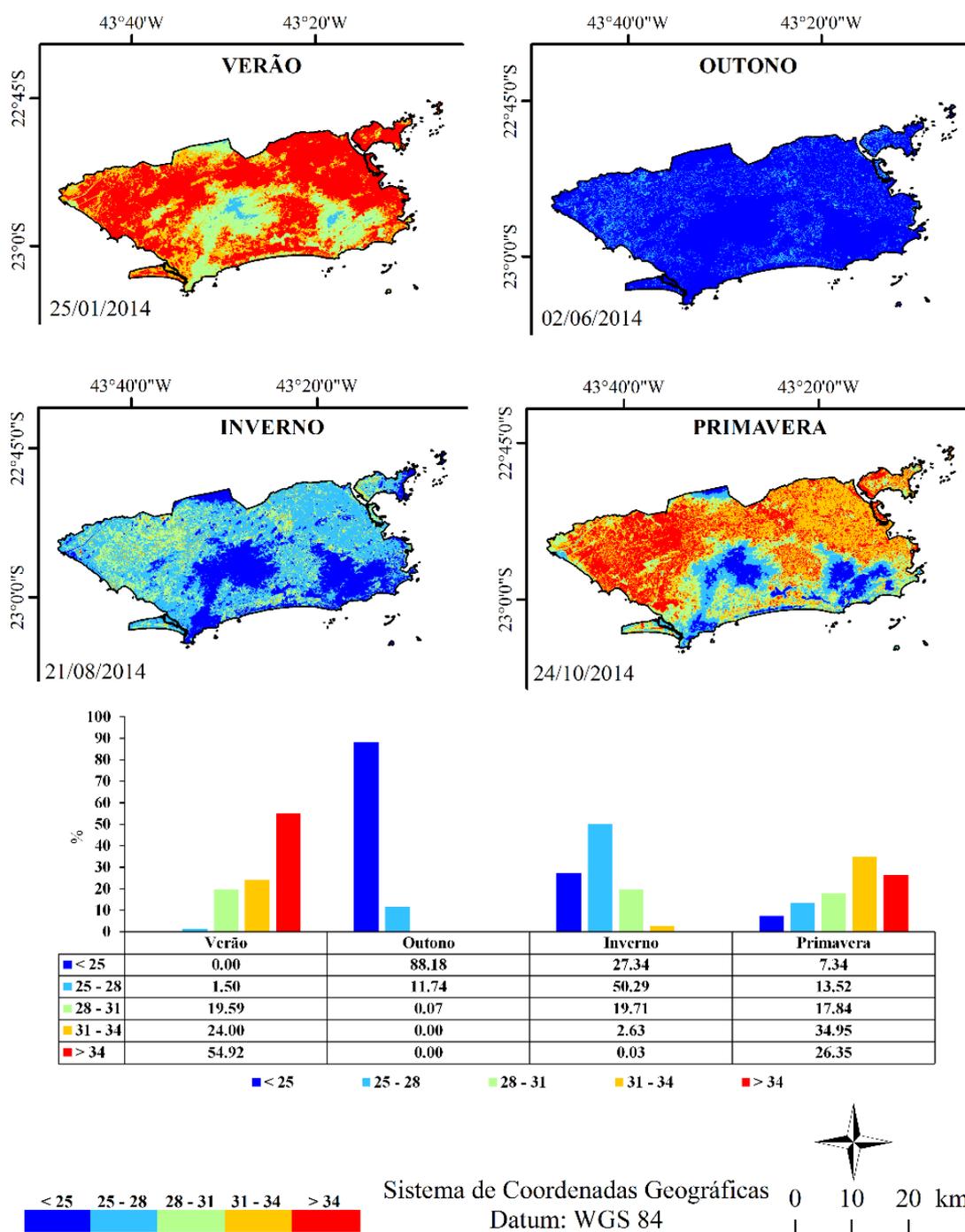
É importante salientar que a classe Mosaico de Agricultura e pastagem sofreu mudanças significativas tendo um ganho de 17.09%, em contrapartida nesse mesmo período a classe Cultura anual e Perene teve uma perda de 17.21%. Esse resultado sugere uma possível substituição de uma classe pela outra durante esse período de tempo. De acordo com Pinto et al., (2005) a pastagem quando bem cuidada, proporciona o recobrimento da superfície do solo durante todo o ano, reduzindo a velocidade do escoamento superficial, quando comparados com culturas agrícolas, por exemplo, que deixam o solo exposto durante o preparo do solo para o plantio.

As demais classes de uso e ocupação da terra não sofreram modificações significativas ao longo dos anos, permanecendo praticamente com as mesmas configurações de distribuição conforme visto na análise de mudanças.

5.2 Distribuição espacial e temporal da temperatura da superfície terrestre

A estimativa sazonal da temperatura da superfície terrestre para o ano de 2014 na cidade do Rio de Janeiro, Brasil, encontra-se na figura 9.

Figura 9 - Distribuição da temperatura da superfície terrestre para o ano de 2014, na cidade do Rio de Janeiro, Brasil



Fonte: a autora.

No ano de 2014 no período de verão foi encontrado um total de 54.94% da área composta por temperaturas acima de 34 °C, sendo as áreas mais quentes localizadas ao extremo oeste da Baía de Guanabara, ou seja zona Norte e Centro, e em áreas mais afastadas da Zona Oeste, em alguns desses locais as temperaturas chegaram a ultrapassar os 40 °C. Essas altas temperaturas correspondem justamente as áreas mais urbanizadas conforme observado anteriormente no mapa de uso e ocupação da terra.

Em contrapartida, regiões na Zona Sul próximos a Floresta da Tijuca apresentaram temperaturas mais amenas para este período mais quente do ano (verão), com temperaturas variando de 28 °C a 31 °C, confirmando o papel da vegetação na amenização das temperaturas. O mesmo foi percebido nas áreas circunvizinhas ao Parque Estadual da Pedra Branca.

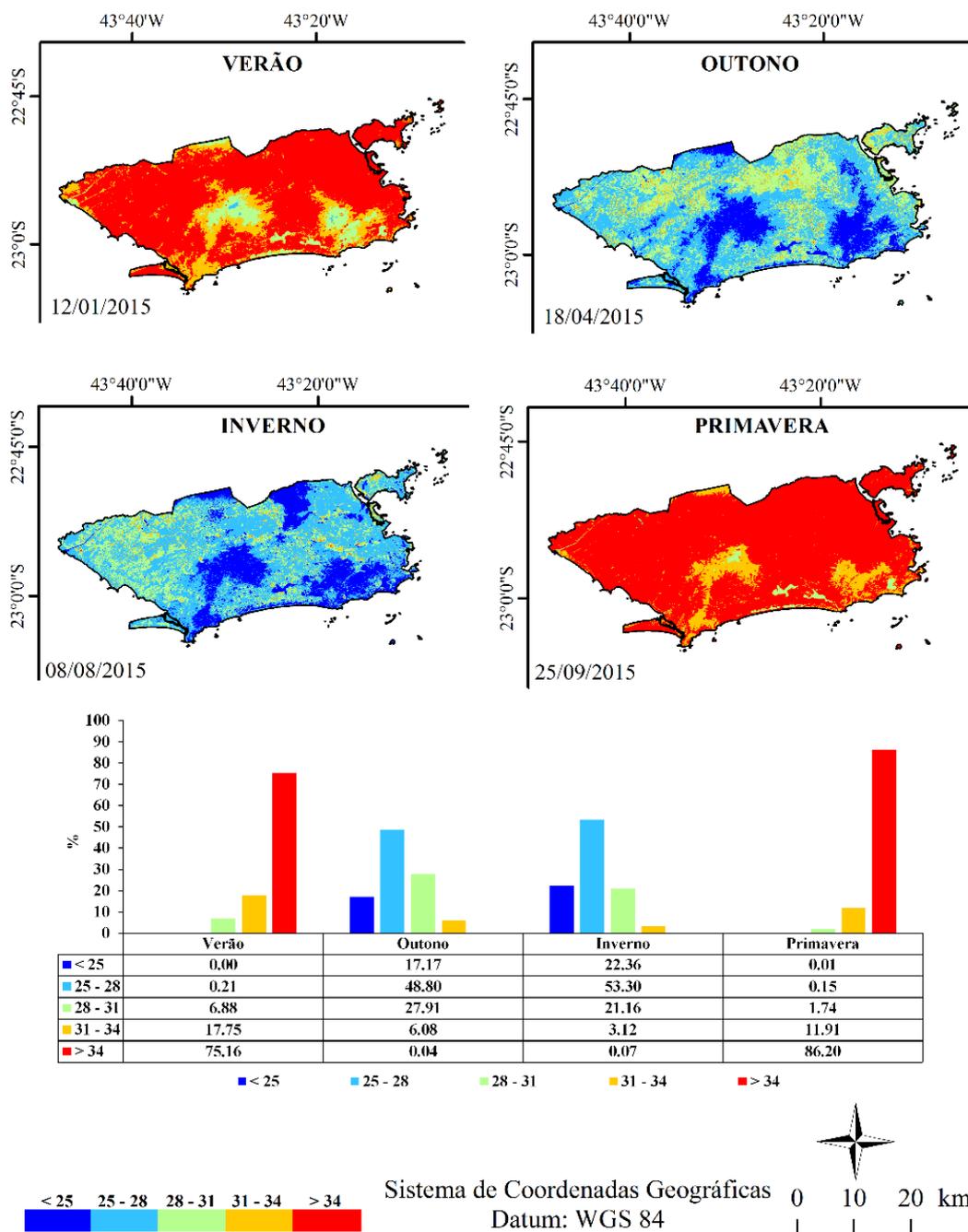
Para o dia de outono foram registradas temperaturas mais amenas tendo em sua totalidade 88.18% da área com temperaturas menores que 25 °C. Padrão que manteve-se parecido no inverno, tendo o registro de temperaturas agradáveis para toda cidade. Com destaque para alguns pontos de temperaturas mais altas na região Oeste e Norte da cidade com temperaturas na faixa de 28 °C a 31 °C.

Na primavera flutuações na temperatura puderam ser observadas, com o predomínio de temperaturas entre 31 °C a 34 °C nas zonas Norte, Oeste e Centro que são regiões muito adensadas e com expressiva ocupação urbana. É importante salientar que neste mesmo período as regiões próximas a Floresta da Tijuca e Parque Estadual da Pedra Branca apresentaram temperaturas menores que 25 °C, mais uma vez confirmando a amenização da temperatura por intermédio das florestas próximas.

Os resultados encontrados por Dimoudi e Nikolopoulou (2003), confirmam que quanto maior a proporção de área verde para área construída no ambiente urbano, maior a redução da temperatura do ar na área. Os autores Albuquerque e Lopes (2016), em sua análise na cidade de Teresina, Piauí, comparando locais arborizados e regiões com menores proporções de vegetação. Como resultados, foram encontrados nos pontos com presença de vegetação (bairros mais vegetados) menores valores de temperatura, enquanto, nos bairros mais urbanizados e com menor presença de vegetação, foi encontrado expressivo rigor térmico. Esses resultados vão de encontro com o padrão encontrado para a cidade do Rio de Janeiro, reforçando a importância da vegetação.

Na figura 10 está representada a espacialização da temperatura da superfície terrestre para o ano de 2015.

Figura 10 - Distribuição da Temperatura da Superfície Terrestre para o ano de 2015, na cidade do Rio de Janeiro, Brasil



Fonte: a autora.

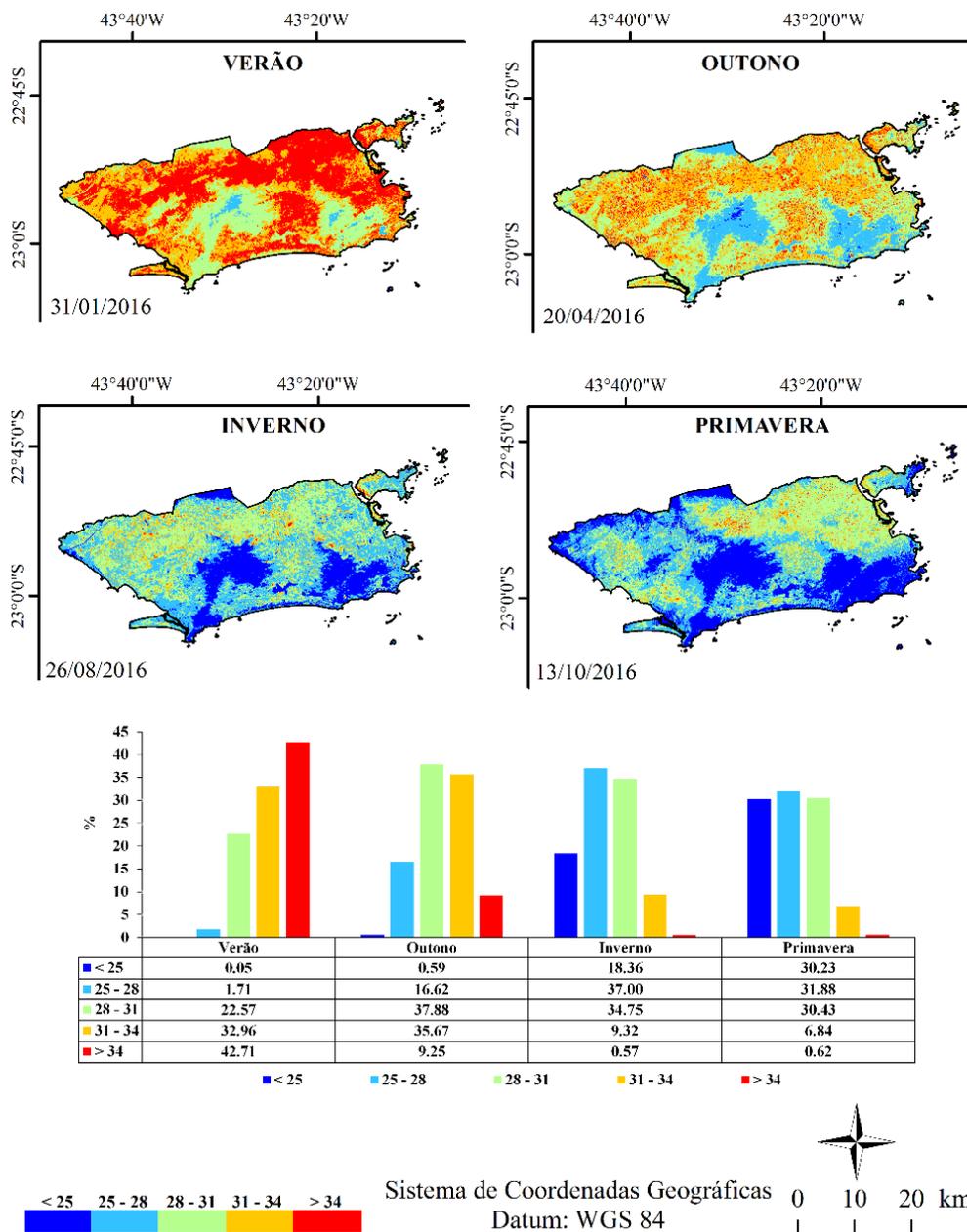
Contraopondo-se ao ano anterior, a espacialização da temperatura para 2015 deixou bem evidente a predominância de altas temperaturas no período do verão e primavera. No verão, prevaleceram temperaturas acima dos 34 °C (75.16%), não tendo registro de temperaturas mais amenas abaixo dos 25 °C.

Na primavera 86.20 % cidade ficou sob domínio de temperaturas acima dos 34 °C. Entretanto, mesmo diante das altas temperaturas encontradas nestes períodos, nota-se que as áreas próximas a vegetação apresentaram temperaturas um pouco mais amenas, na faixa de 31 °C à 34 °C. No período de outono e inverno foram registradas temperaturas mais agradáveis entre 25 °C à 28 °C, até mesmo nas áreas mais urbanizadas da cidade.

Esse padrão de variação das temperaturas pode ser explicado pelo fato de nesse ano o Brasil ter sido acometido pelo fenômeno *El Niño-Oscilação Sul* (ENOS) com intensidade forte (INPE, 2019). O fenômeno associa-se a condições de aquecimento anormal das águas superficiais do Oceano Pacífico Tropical, podendo afetar o clima regional e global, seus impactos no Brasil são bem diversificados, em algumas áreas produz secas extremas, em outras, eleva consideravelmente as temperaturas (SANTOS, et al., 2011).

Referente ao ano de 2016, podemos observar (Figura 11) a ocorrência de oscilações na temperatura, tendo o verão a dominância de temperaturas superiores aos 34 °C. Percebeu-se um padrão de aumento nas temperaturas nas estações do outono e inverno em relação aos anos anteriores e uma queda de temperatura durante a primavera.

Figura 11 - Distribuição da Temperatura da Superfície Terrestre para o ano de 2016, na cidade do Rio de Janeiro, Brasil

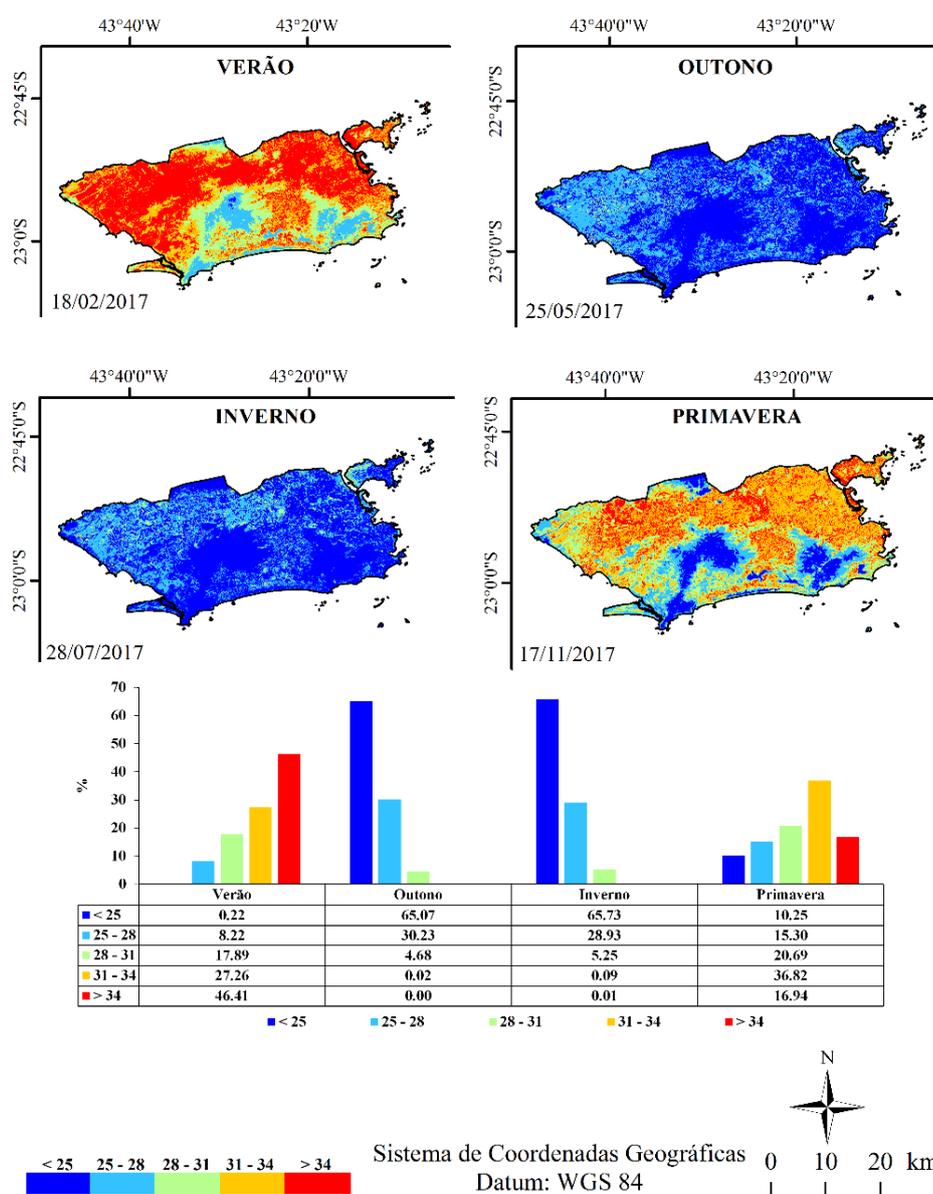


Fonte: a autora.

Nas figuras 12 e 13 estão dispostas as temperaturas estimadas para os anos de 2017 e 2018.

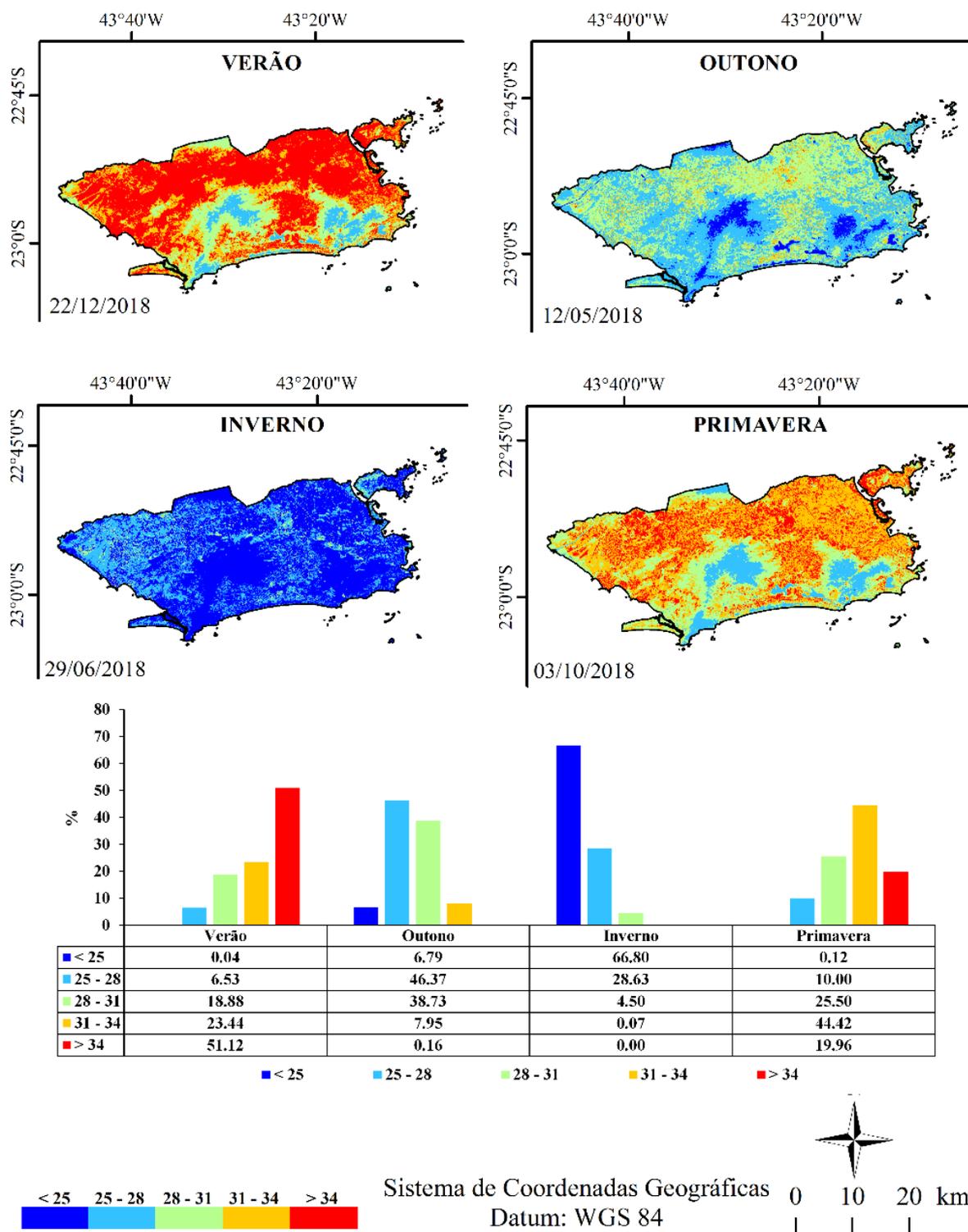
As imagens de temperatura para 2017 (Figura 12), revelam a presença de altas temperaturas (34 °C) apenas no período do verão em alguns pontos da cidade. No outono e inverno preponderaram temperaturas mais amenas (<25 °C). Na primavera foi onde a cidade apresentou maiores oscilações, sobressaindo a faixa de 31 °C – 34 °C.

Figura 12 - Distribuição da Temperatura da Superfície Terrestre para o ano de 2017, na cidade do Rio de Janeiro, Brasil



Fonte: a autora.

Figura 13 - Distribuição da Temperatura da Superfície Terrestre para o ano de 2018, na cidade do Rio de Janeiro, Brasil



Fonte: a autora.

5.2.1 Classificação da temperatura por bairros para os anos de 2015 e 2018 nas estações do Verão e Primavera.

A análise da temperatura da superfície por bairros (Tabelas 10 e 11) demonstraram um padrão de variação de temperatura para algumas regiões da cidade, com prevalência total de temperaturas acima dos 34 °C.

Os resultados dessas análises foram divididos em percentual de ocupação por classes de temperatura nas duas estações analisadas (verão e primavera), com ênfase para os bairros mais populares e com temperaturas mais alarmantes. Todavia, a análise completa com os resultados encontrados para todos os 162 bairros, encontra-se disponível no Apêndice A – Tabelas 17 e 18.

Tabela 10 - Percentuais de temperatura distribuídos por bairros nas estações do Verão e Primavera no ano de 2015

	BAIRRO	Estação do ano	<25 °C	25 - 28 °C	28 - 31 °C	31 - 34 °C	>34 °C	
Zona Central	Benfica	Verão					100.00	
		Primavera					100.00	
	Centro	Verão		0.08	1.33	12.27	86.33	
		Primavera		0.12	2.49	23.12	74.27	
	Lapa	Verão					100.00	
		Primavera					100.00	
	Mangueira	Verão					100.00	
		Primavera				0.08	99.92	
	Santa Teresa	Verão			1.45	32.11	66.44	
		Primavera			0.05	13.52	86.43	
	Glória	Verão			0.59	4.61	94.80	
		Primavera		0.05	1.84	12.35	85.75	
	Zona Sul	Botafogo	Verão				4.93	95.07
			Primavera			0.05	18.06	81.89
Copacabana		Verão			0.40	37.23	62.37	
		Primavera		0.22	1.12	49.48	49.17	
Jardim Botânico		Verão				26.28	73.72	
		Primavera				21.18	78.82	
Ipanema		Verão		2.30	10.45	56.78	30.47	
		Primavera	0.54	3.90	8.44	64.26	22.86	
Lagoa		Verão			40.55	16.83	42.62	
		Primavera		0.20	42.86	19.27	37.67	
Rocinha		Verão			21.32	68.67	10.01	
		Primavera				49.21	50.79	

Zona Oeste	Jacarepaguá	Verão	0.61	17.55	34.75	47.09	
		Primavera		0.80	14.13	85.07	
	Barra da Tijuca	Verão	0.05	24.05	19.31	56.59	
		Primavera	0.02	0.45	19.87	11.32	68.33
	Cidade de Deus	Verão					100.0
		Primavera					0
	Guaratiba	Verão		2.23	20.03	77.74	100.0
		Primavera	0.07	0.74	15.24	83.95	0
	Bangu	Verão		8.71	20.63	70.66	100.0
		Primavera		0.07	13.78	86.15	0
	Realengo	Verão		1.68	8.30	90.03	100.0
		Primavera			1.74	98.20	0
	Zona Norte	Alto da Boa Vista	Verão	0.43	48.86	44.81	5.90
			Primavera		0.51	68.76	30.74
Tijuca		Verão		0.05	24.64	75.31	
		Primavera			2.20	97.80	
Abolição		Verão					100.0
		Primavera					0
Méier		Verão					100.0
		Primavera					0
Complexo do Alemão		Verão					100.0
		Primavera					0
Galeão		Verão		0.05	1.38	98.58	
		Primavera		0.12	2.14	97.74	

Fonte: a autora.

Tabela 11 - Percentuais de temperatura distribuídos por bairros nas estações do Verão e Primavera no ano de 2018

	BAIRRO	Estação do ano	<25 °C	25 - 28 °C	28 - 31 °C	31 - 34 °C	>34 °C
Zona Central	Benfica	Verão				11.66	88.34
		Primavera			0.27	77.45	22.28
	Centro	Verão		0.78	5.44	46.97	46.81
		Primavera	0.06	1.53	23.42	58.58	16.41
	Lapa	Verão				84.38	15.62
		Primavera			7.02	84.68	8.30
	Mangueira	Verão				53.90	46.10
		Primavera			24.30	62.13	13.57
	Santa Teresa	Verão		11.99	34.40	31.15	22.46
		Primavera		12.62	41.69	31.38	14.31
	Glória	Verão		0.03	2.97	41.91	55.09
		Primavera		0.40	13.87	38.47	47.26

Zona Sul	Botafogo	Verão		0.19	27.21	52.46	20.15	
		Primavera		0.00	43.50	44.44	12.05	
	Copacabana	Verão		0.37	44.65	39.20	15.78	
		Primavera	0.16	1.25	69.48	23.25	5.86	
	Jardim Botânico	Verão		0.55	46.83	32.83	19.78	
		Primavera		0.08	52.54	31.97	15.41	
	Ipanema	Verão	3.67	16.32	40.01	24.11	15.89	
		Primavera	4.16	17.74	53.69	22.68	1.73	
	Lagoa	Verão		38.00	24.72	20.40	16.88	
		Primavera		43.32	27.20	22.14	7.35	
	Rocinha	Verão		11.42	70.62	14.05	3.92	
		Primavera		12.67	75.25	11.42	0.66	
	Zona Oeste	Jacarepaguá	Verão		11.51	43.93	22.82	21.75
			Primavera		16.95	46.06	27.08	9.90
Barra da Tijuca		Verão	0.09	19.58	23.42	25.75	31.16	
		Primavera	0.28	26.67	26.33	31.59	15.12	
Cidade de Deus		Verão				0.72	99.28	
		Primavera			0.04	88.78	11.18	
Guaratiba		Verão		1.73	24.87	35.77	37.63	
		Primavera	0.01	3.22	46.26	38.84	11.67	
Bangu		Verão		2.28	21.75	19.15	56.81	
		Primavera		14.58	17.66	47.44	20.32	
Realengo		Verão		0.66	7.48	21.70	70.16	
		Primavera		1.78	9.88	54.56	33.78	
Zona Norte		Alto da Boa Vista	Verão		54.46	41.13	3.44	0.98
			Primavera	0.04	65.87	31.26	2.48	0.35
	Tijuca	Verão		1.46	31.11	39.83	27.60	
		Primavera		2.32	33.11	46.85	17.72	
	Abolição	Verão					100.0	
		Primavera				87.98	12.02	
	Méier	Verão				3.26	96.74	
		Primavera			0.64	86.66	12.70	
	Complexo do Alemão	Verão				50.14	49.86	
		Primavera			9.80	68.58	21.62	
	Galeão	Verão		0.01	7.01	25.34	67.64	
		Primavera		0.13	16.06	38.17	45.64	

Fonte: a autora.

Conforme dados do último censo do IBGE para o ano de 2010, grande parte da população carioca está concentrada nos seguintes bairros: Campo Grande, Santa Cruz, Bangu, Tijuca, Realengo, Jacarepaguá, Copacabana, Barra da Tijuca, Maré, Guaratiba e Taquara, que juntos somam 1,5 milhões de habitantes (IBGE, 2019). Esses bairros coincidentemente, apresentaram as maiores temperaturas, principalmente durante a estação do verão.

Analisando especificamente o ano de 2015, em ambas estações as temperaturas foram elevadas (acima de 34 °C) em grande parte da cidade, com destaque para regiões dos bairros da Zona Central e Zona Norte que apresentaram maior percentual de ocupação dentro dessa faixa de temperatura (100%).

O subúrbio da cidade apresenta áreas desconfortáveis, com pouca ou nenhuma árvore, moradias precárias e saneamento inadequado, que são fortemente povoadas por pessoas que vivem em condições insalubres, como favelas. Assim, muitas dessas áreas suburbanas registraram valores de alta temperatura (LUCENA et al., 2013).

Alguns bairros da Zona Sul, como Jardim Botânico por exemplo, mesmo sendo altamente arborizado, nesse período de extremas temperaturas apresentou expressivo domínio de temperaturas elevadas. Esse resultado, pode ser justificado devido ao fato do resfriamento poder ser reduzido consideravelmente ou até mesmo perdido nos períodos de extremas secas de verão, quando os solos secam, devido à redução da evapotranspiração. Futuramente devido as mudanças climáticas globais, esse efeito provavelmente será ainda mais pronunciado e ocorrerá por um período maior (GILL et al., 2013). Supostamente, a cidade do Rio de Janeiro já tem sido impactada negativamente, visto que durante a ocorrência do fenômeno *El Niño* os benefícios da vegetação foram reduzidos drasticamente em alguns bairros.

Vale destacar, os percentuais encontrados no bairro Lagoa, apresentando temperaturas bem mais amenas em relação a outros bairros circunvizinhos. Além da vegetação, os corpos hídricos também funcionam como ilhas de frescor, levando em consideração que grande parte da radiação absorvida é utilizada na evaporação. Além disso, os ventos que circulam nessas áreas resfriam e se deslocam para as áreas adjacentes (MENEZES; MENDES, 2017).

Com base nas 20 imagens de distribuição espacial e temporal da temperatura de superfície terrestre para os anos de 2014 a 2018, constata-se a presença do fenômeno ilha de calor presente na cidade do Rio do Janeiro, Brasil. É possível evidenciar que as ilhas de calor presentes na cidade se comportam de maneira proporcional aos tipos de usos e ocupações do solo, bem como conforme as variações sazonais climáticas.

De um modo geral, foi possível observar que as áreas mais quentes e amplamente influenciadas pelo fenômeno das ilhas de calor estão localizadas principalmente nos locais mais urbanizados da cidade com menor presença de vegetação, demonstrando a necessidade da adoção de medidas a fim de mitigar e

amenizar as temperaturas. Esse mesmo padrão foi encontrado por Jain et al., (2019) onde áreas urbanas com uma boa proporção de vegetação, apresentaram temperaturas mais baixas em comparação com as áreas densamente construídas da cidade.

O padrão espacial das ilhas de calor na cidade reflete a natureza diferente de seus fatores constituintes e agravantes. A formação desse fenômeno na proximidade de áreas residenciais e comerciais densas, juntamente com a poluição do ar induzida pelo tráfego e, conseqüentemente, a liberação de poluentes ambientais perigosos são os fatores mais importantes que ameaçam a saúde dos moradores e aumentam consideravelmente o risco de muitas doenças, principalmente respiratórias e doenças cardiovasculares (BOKAIE et al., 2016).

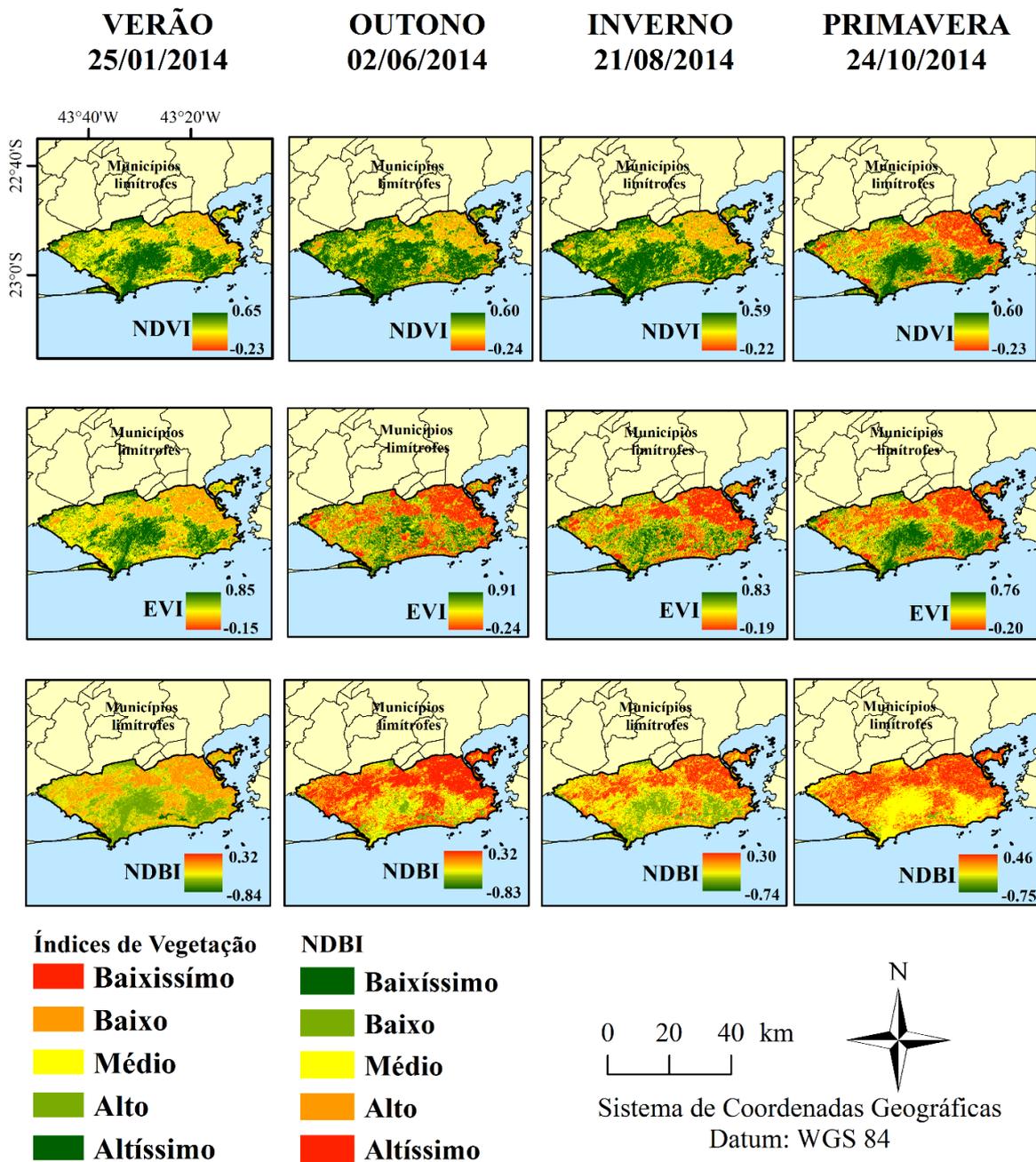
Em conseqüência, a atenuação dos efeitos deve ser pautada na adoção de ações estratégicas de regeneração urbana, buscando substituir as superfícies construídas de materiais tradicionais por pavimentos e telhados refletivos solares e/ou infraestruturas verdes. Além disso, os projetos urbanos devem ser reformulados para evitar concentrações de prédios altos que favorecem a criação de microclimas, capturando calor durante as horas de sol (JATO-ESPINO, 2019).

A análise por bairros comprovou que a vegetação atua indiretamente na melhoria do microclima, tendo os bairros mais urbanizados mesmo em períodos de temperaturas bem elevadas, como no ano de ocorrência do fenômeno *El Niño*, apresentam temperaturas mais agradáveis em alguns deles.

5.3 Índices de vegetação NDVI e EVI e índice de áreas construídas NDBI

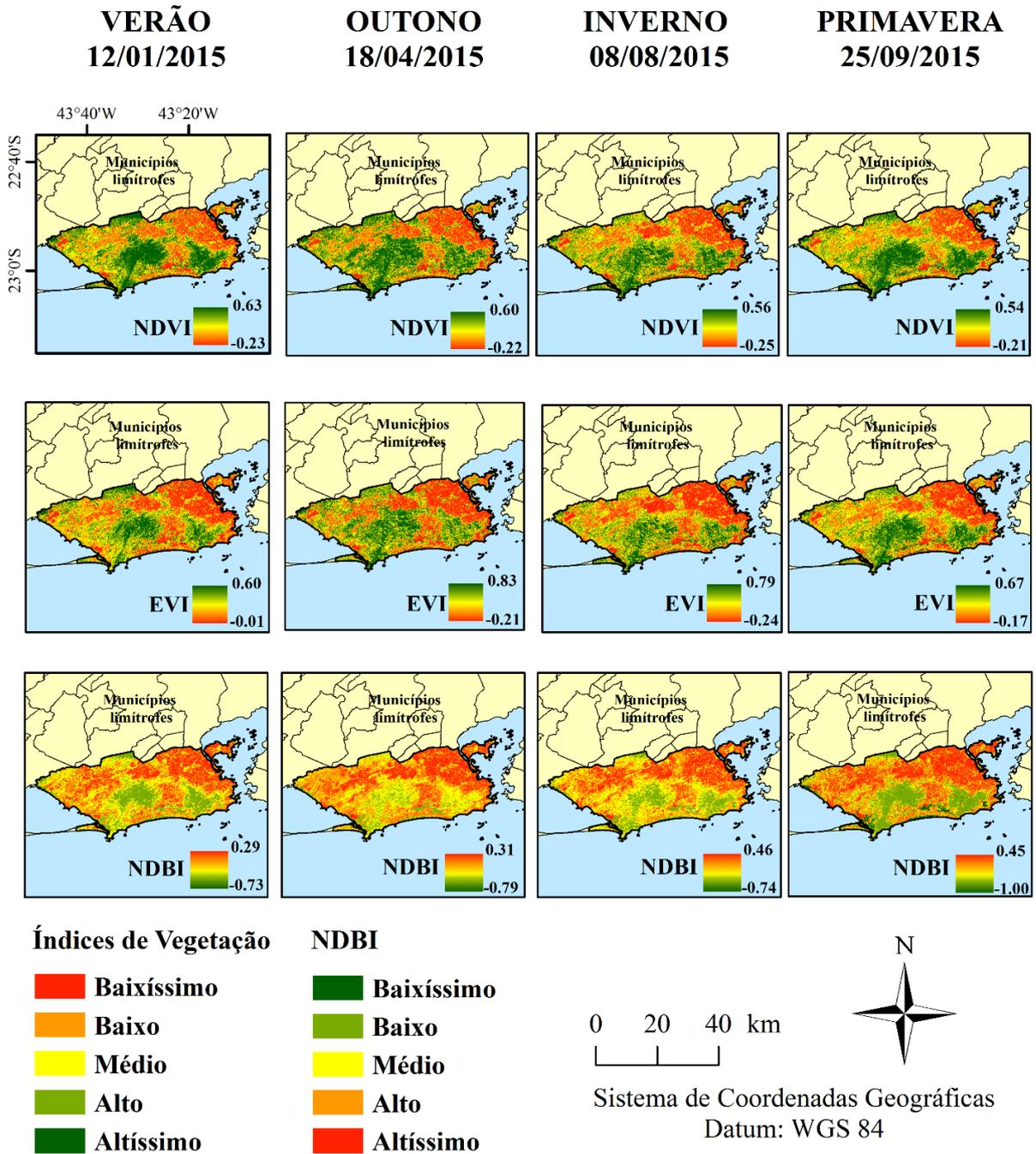
Os resultados dos índices de vegetação (NDVI e EVI) e do índice de áreas construídas (NDBI) para todo período de estudo, estão expressos nas Figuras 14, 15, 16, 17 e 18, respectivamente.

Figura 14 - Espacialização dos índices NDVI, EVI e NDBI para a cidade do Rio de Janeiro para o ano de 2014



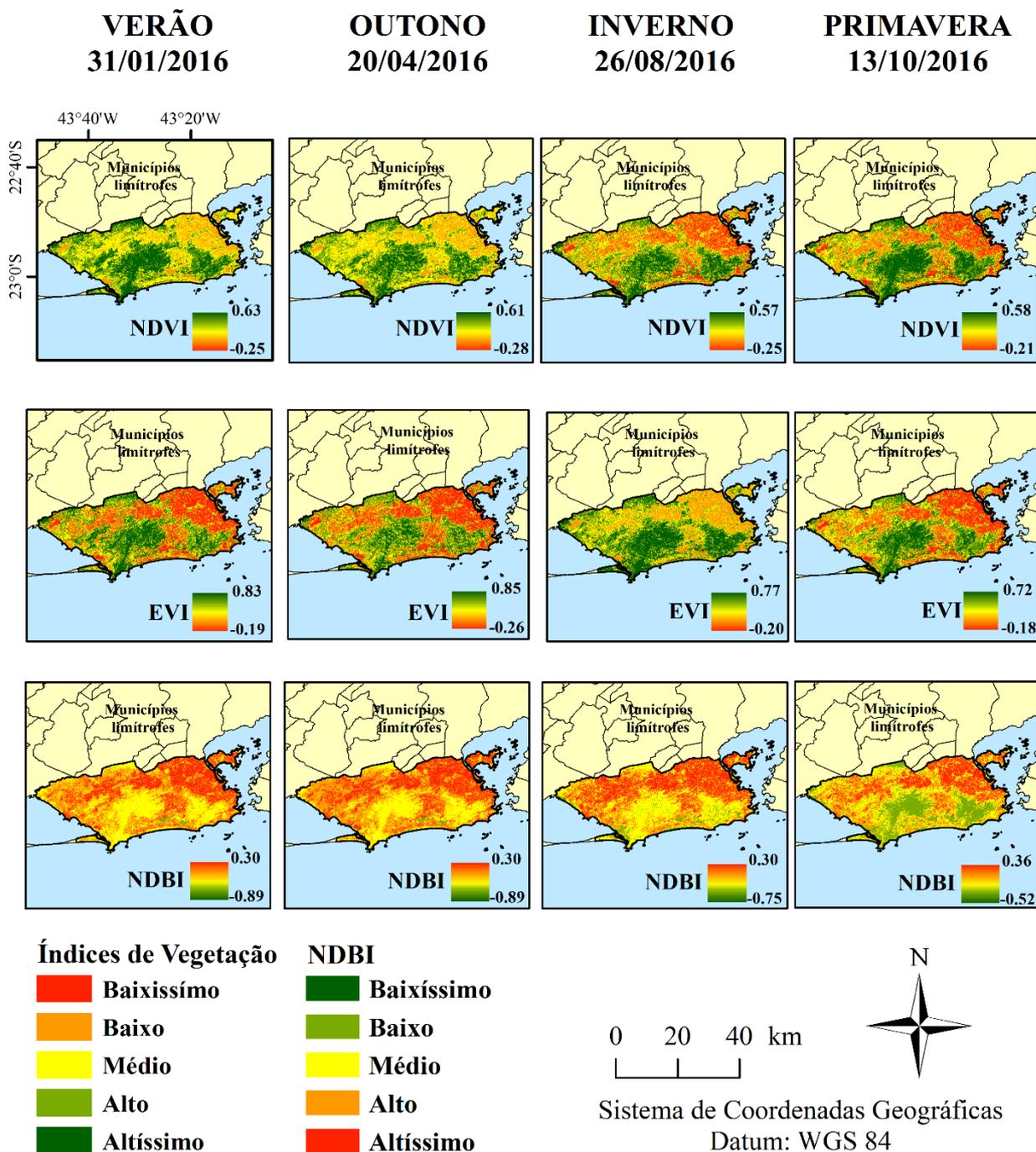
Fonte: a autora.

Figura 15 - Espacialização dos índices NDVI, EVI e NDBI para a cidade do Rio de Janeiro para o ano de 2015



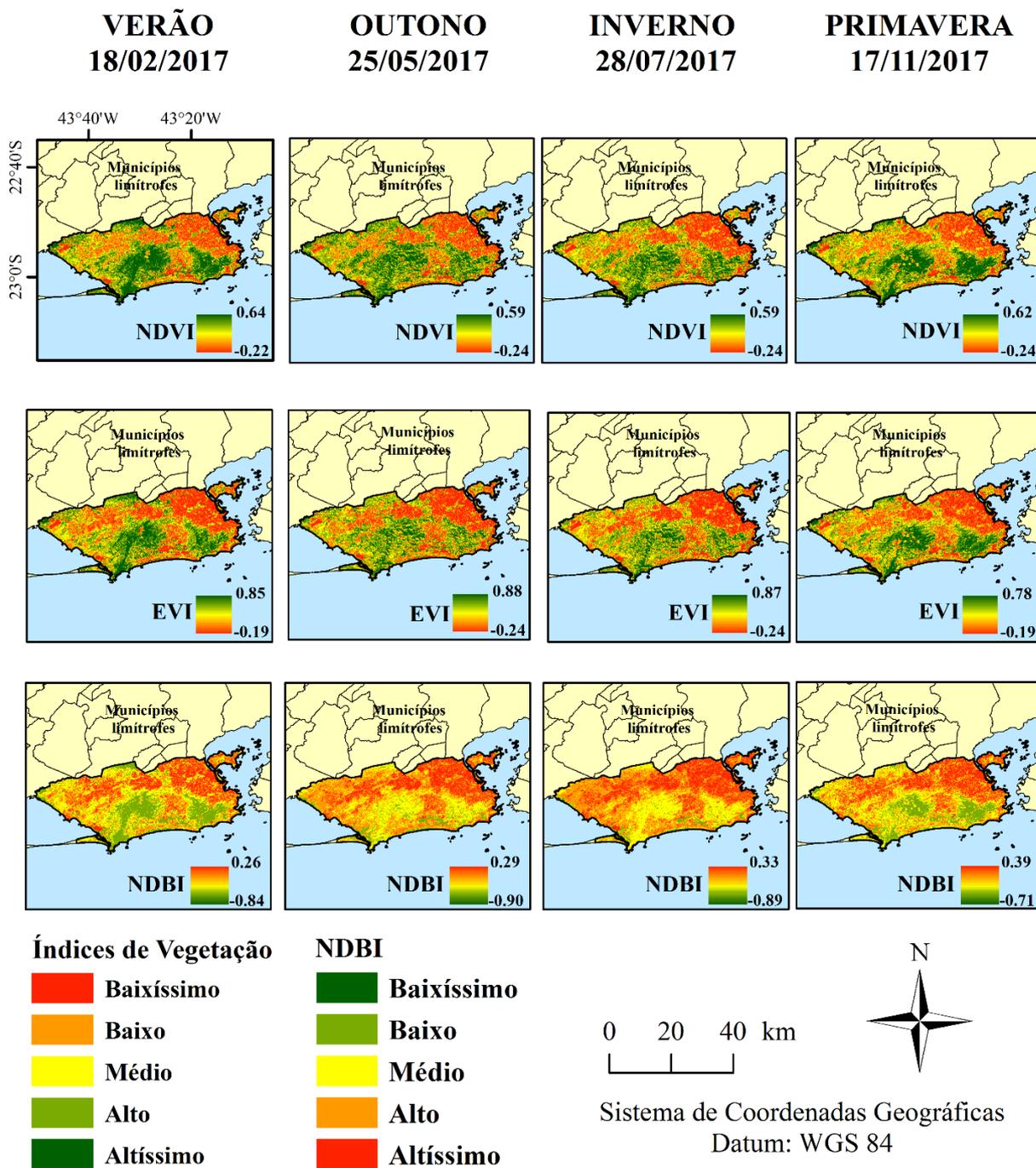
Fonte: a autora.

Figura 16 - Espacialização dos índices NDVI, EVI e NDBI para a cidade do Rio de Janeiro para o ano de 2016



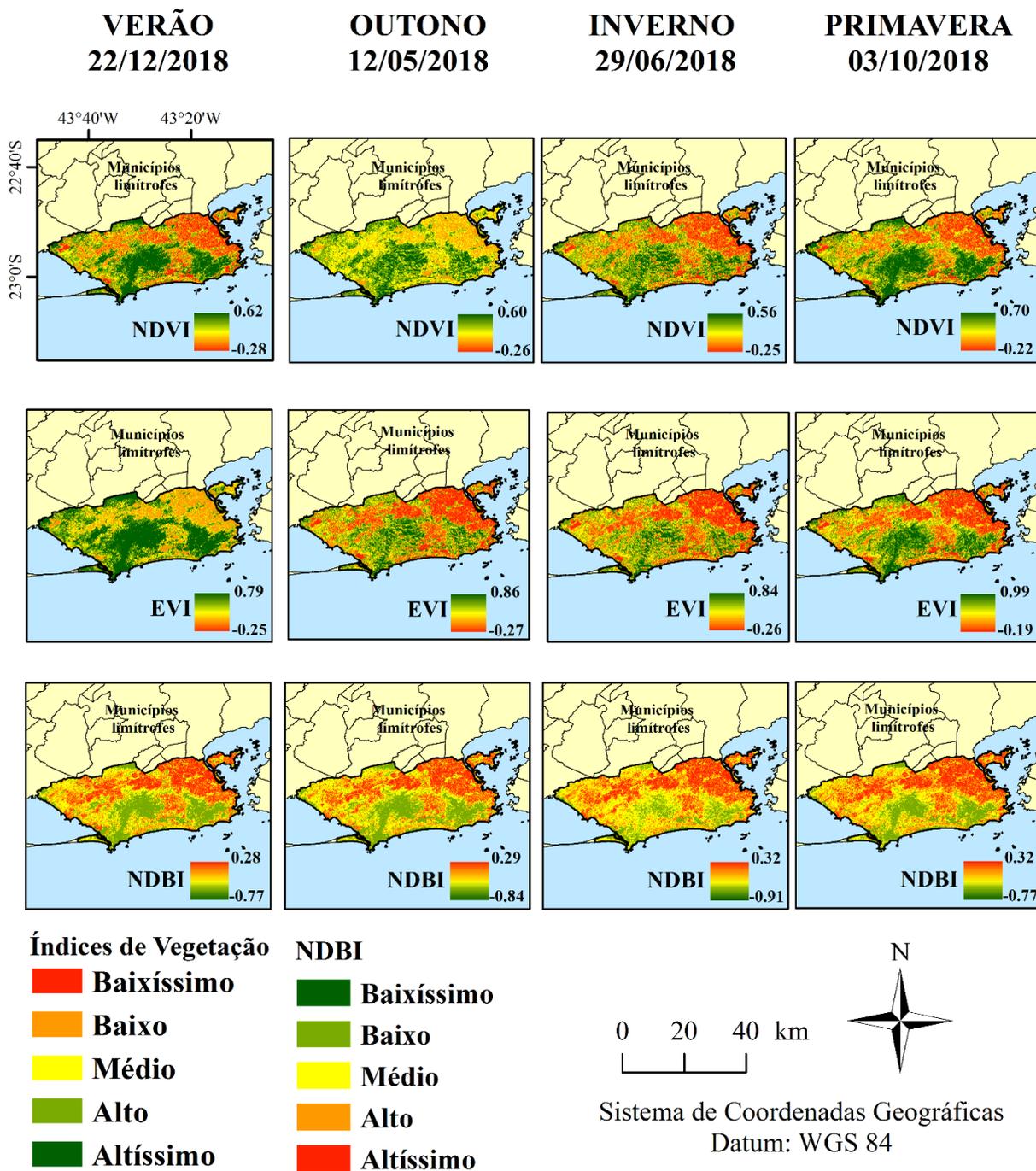
Fonte: a autora.

Figura 17 - Espacialização dos índices NDVI, EVI e NDBI para a cidade do Rio de Janeiro para o ano de 2017



Fonte: a autora.

Figura 18 - Espacialização dos índices NDVI, EVI e NDBI para a cidade do Rio de Janeiro para o ano de 2018



Fonte: a autora.

Os valores em porcentagem de ocupação para cada classe de classificação dos índices encontram-se dispostos na Tabela 12.

Tabela 12 - Valores em porcentagem de ocupação para cada classe de classificação dos índices NDVI, EVI e NDBI

Ano	Índice	Estação	Baixíssimo	Baixo	Médio	Alto	Altíssimo
2014	NDVI	Verão	0.00	16.46	36.20	20.84	26.51
		Outono	0.00	17.73	21.76	19.04	41.47
		Inverno	0.00	19.03	21.74	20.23	39.00
		Primavera	17.90	21.97	20.89	19.21	20.03
	EVI	Verão	0.00	24.00	37.15	19.87	18.98
		Outono	25.01	21.57	20.80	21.70	10.92
		Inverno	25.87	21.19	21.46	20.75	10.73
		Primavera	24.07	22.89	20.71	17.75	14.58
	NDBI	Verão	0.00	24.64	28.60	35.41	11.35
		Outono	0.01	8.63	26.64	21.85	42.88
		Inverno	0.01	18.54	37.22	23.63	20.60
		Primavera	0.00	1.80	39.91	28.33	29.96
2015	NDVI	Verão	15.65	21.43	19.95	21.39	21.59
		Outono	17.47	19.47	16.07	24.74	22.25
		Inverno	19.36	21.38	20.89	23.59	14.79
		Primavera	13.80	22.85	21.38	23.26	18.71
	EVI	Verão	23.31	22.64	22.87	19.57	11.61
		Outono	23.19	19.24	18.20	24.00	15.37
		Inverno	26.28	22.08	21.11	20.31	10.22
		Primavera	20.14	22.58	22.09	21.78	13.40
	NDBI	Verão	0.01	18.46	33.10	24.55	23.88
		Outono	0.01	8.08	29.85	38.52	23.54
		Inverno	0.00	14.63	36.16	25.02	24.19
		Primavera	2.92	21.93	18.88	27.61	28.67
2016	NDVI	Verão	0.00	15.74	34.73	22.37	27.15
		Outono	0.00	18.07	37.48	23.95	20.50
		Inverno	15.39	24.12	21.61	21.30	17.58
		Primavera	15.19	21.06	18.94	22.24	22.56
	EVI	Verão	22.28	18.76	17.74	22.04	19.18
		Outono	24.36	20.26	18.87	22.34	14.16
		Inverno	0.00	24.36	24.19	21.26	30.19
		Primavera	20.79	20.59	20.35	22.49	15.78
	NDBI	Verão	0.01	0.57	33.53	41.37	24.51
		Outono	0.02	0.93	29.91	42.13	27.01
		Inverno	0.01	4.74	38.07	27.49	29.68
		Primavera	0.00	21.88	35.04	23.48	19.59
2017	NDVI	Verão	17.06	20.94	17.48	21.84	22.69
		Outono	17.41	20.62	17.73	24.72	19.52
		Inverno	20.56	20.45	20.69	22.94	15.37
		Primavera	17.91	22.05	20.89	19.96	19.18
	EVI	Verão	23.83	20.68	19.55	20.61	15.33
		Outono	24.68	19.84	20.82	21.97	12.70
		Inverno	26.27	21.05	21.77	20.65	10.26

		Primavera	23.24	23.11	20.41	18.87	14.37
		Verão	0.03	22.26	34.41	22.03	21.28
	NDBI	Outono	0.01	7.03	29.32	41.30	22.34
		Inverno	0.01	3.95	25.46	43.99	26.60
		Primavera	0.00	17.37	33.35	26.08	23.21
		Verão	16.46	20.93	17.60	19.67	25.34
	NDVI	Outono	0.00	16.94	38.86	24.47	19.73
		Inverno	17.91	22.21	20.22	24.32	15.34
		Primavera	15.42	20.81	19.24	21.32	23.20
		Verão	0.00	22.58	20.14	18.87	38.40
2018	EVI	Outono	24.29	20.43	20.62	21.77	12.88
		Inverno	25.29	21.60	22.39	20.78	9.94
		Primavera	21.81	20.64	20.78	21.89	14.88
		Verão	0.02	25.22	32.22	21.08	21.46
	NDBI	Outono	0.02	25.46	35.07	19.57	19.88
		Inverno	0.01	13.44	40.98	22.91	22.66
		Primavera	0.01	20.03	33.38	23.89	22.70

Fonte: a autora.

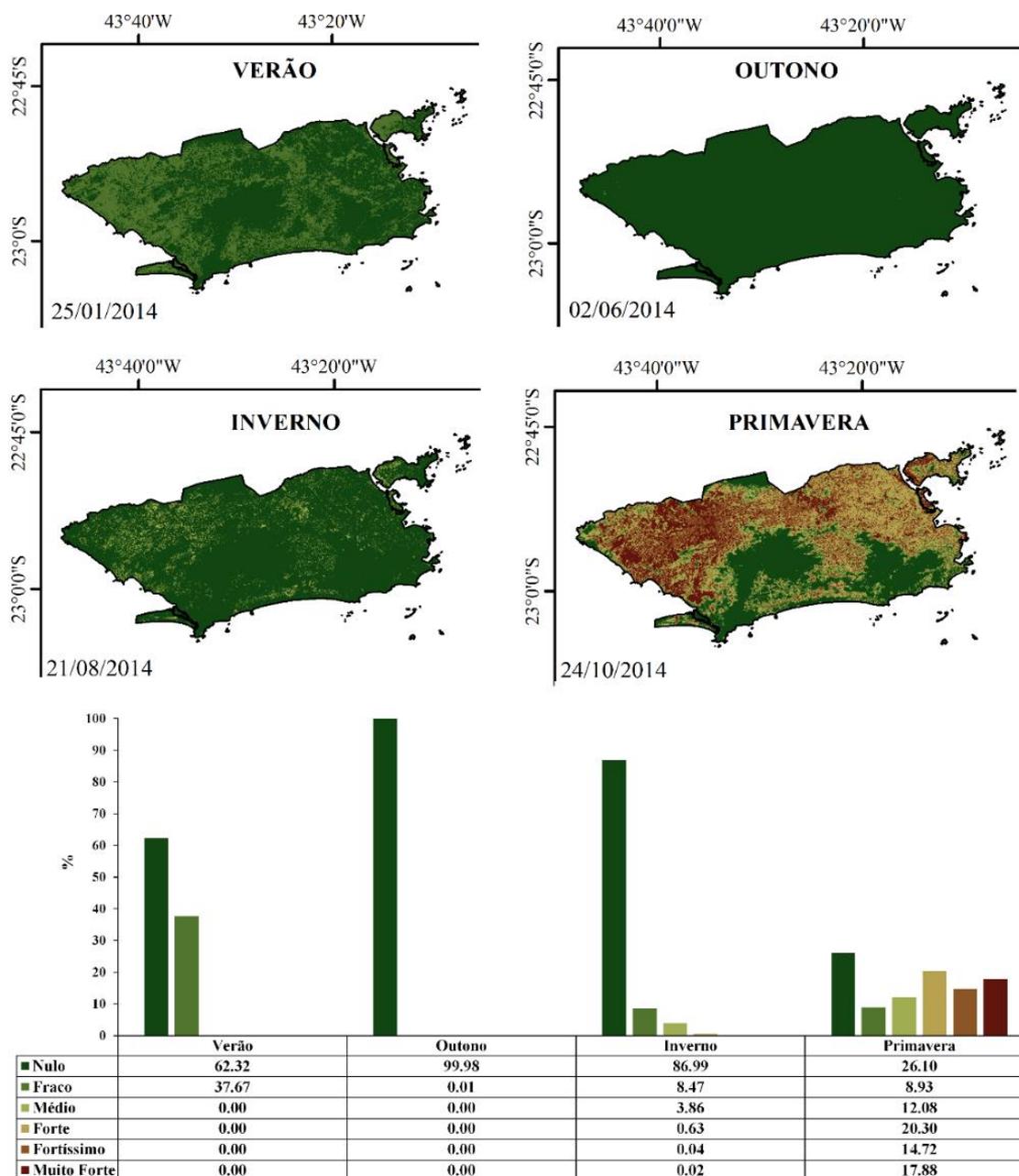
A ideia é que o NDVI e o EVI fossem considerados como indicadores de cobertura vegetal, enquanto o NDBI foi utilizado para mapeamento das áreas construídas. Tanto o NDVI e EVI quanto o NDBI foram considerados intimamente relacionados a temperatura da superfície terrestre (T_s).

Os resultados dos índices NDVI e EVI revelam que a distribuição de vegetação na cidade é bem homogênea, concentradas sobretudo nas áreas ocupadas pelo Parque Nacional da Tijuca e Parque Estadual da Pedra Branca, tendo pequenos pontos de vegetação espalhados pelo restante da cidade. Além disso, áreas da Zona norte e Centro têm vegetação muito baixa. O índice NDBI confirma a expressiva densidade urbana existente na cidade.

5.4 Avaliação ecológica das ilhas de calor urbanas por meio do índice de variação do campo térmico

Através do cálculo do índice de variação do campo térmico, foi possível analisar, a intensidade e as áreas de piores classificações quanto a presença das ilhas de calor. Os resultados para todos os anos e estações analisadas encontram-se dispostos nas Figuras 19, 20, 21, 22 e 23, respectivamente.

Figura 19 - Índice de variação do campo térmico na cidade do Rio de Janeiro para o ano de 2014



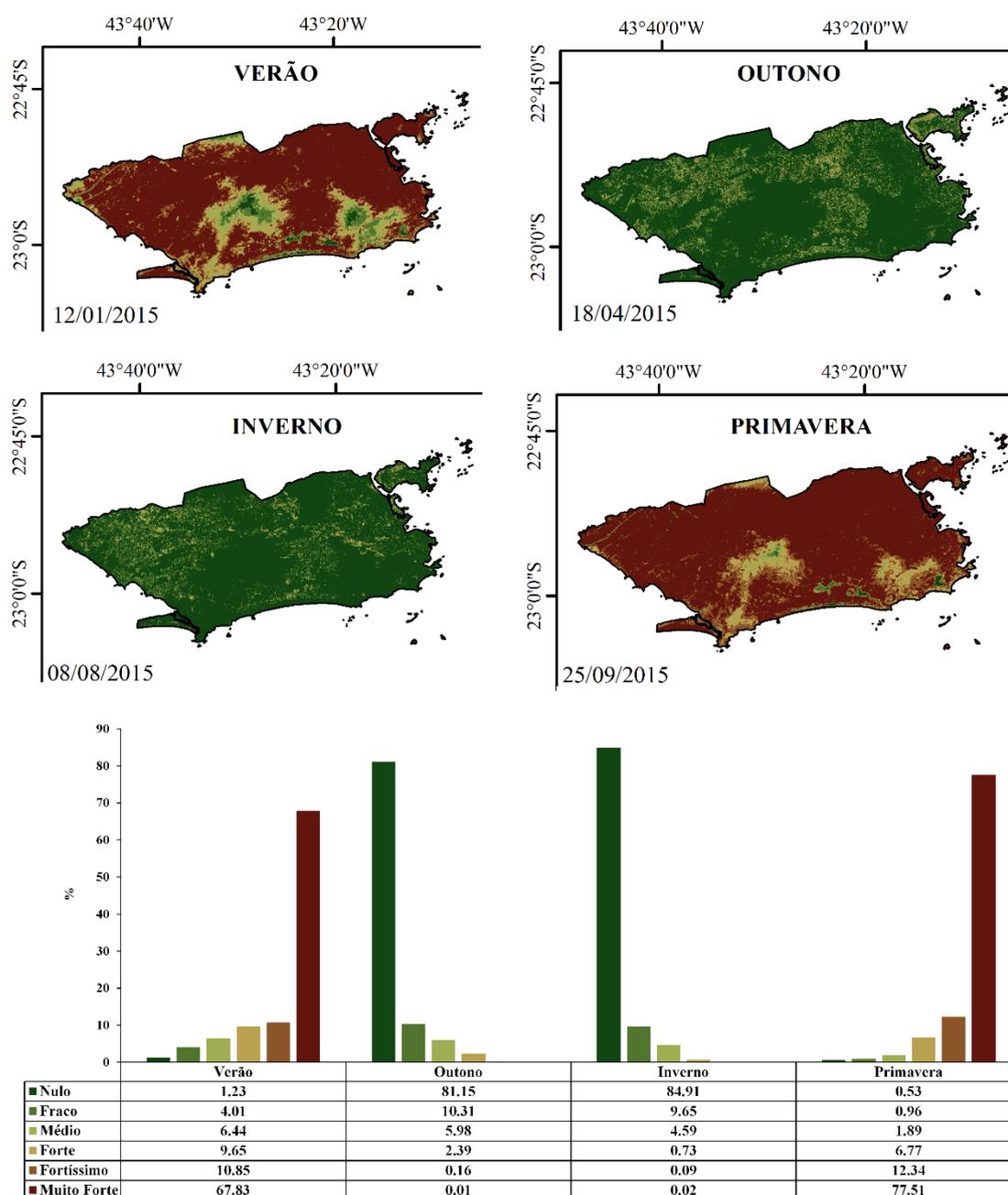
Sistema de Coordenadas Geográficas
Datum: WGS 84

0 10 20 km



Fonte: a autora.

Figura 20 - Índice de variação do campo térmico na cidade do Rio de Janeiro para o ano de 2015



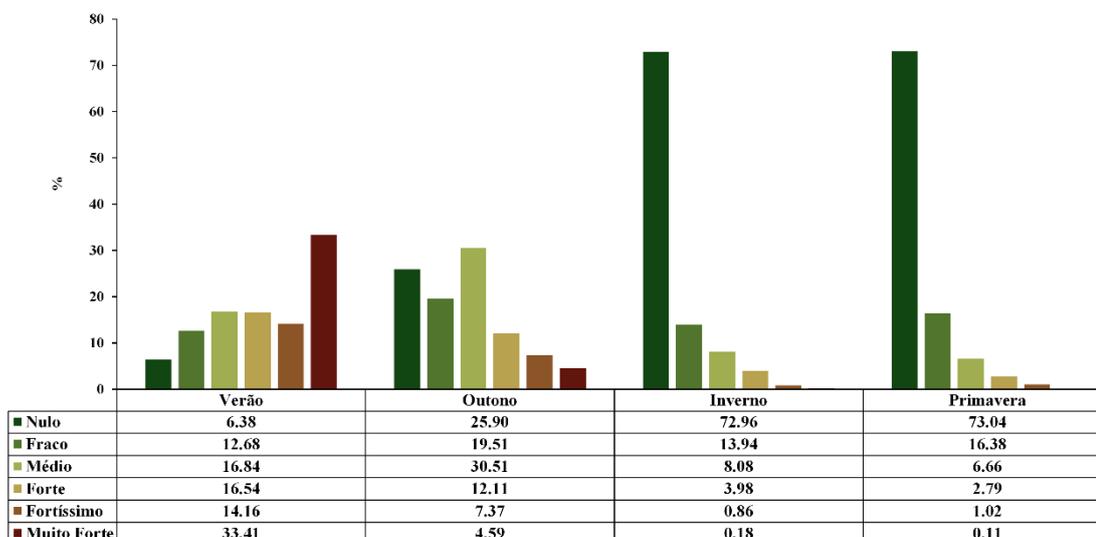
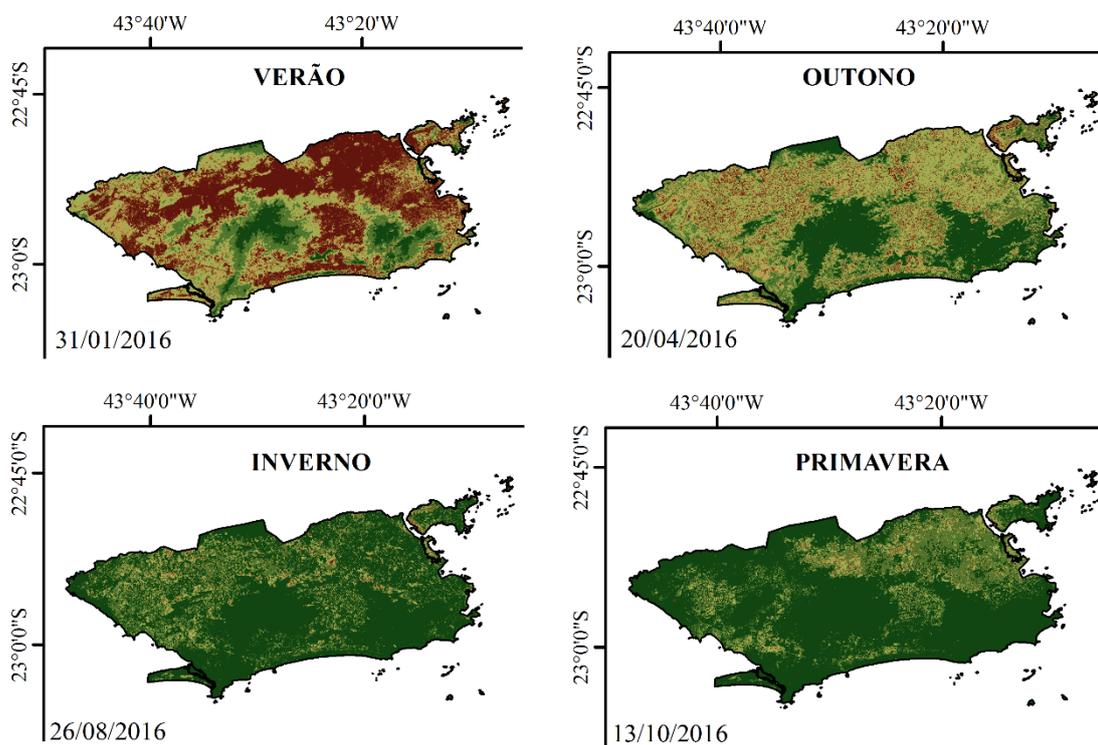
Sistema de Coordenadas Geográficas
Datum: WGS 84

0 10 20 km



Fonte: a autora

Figura 21 - Índice de variação do campo térmico na cidade do Rio de Janeiro para o ano de 2016



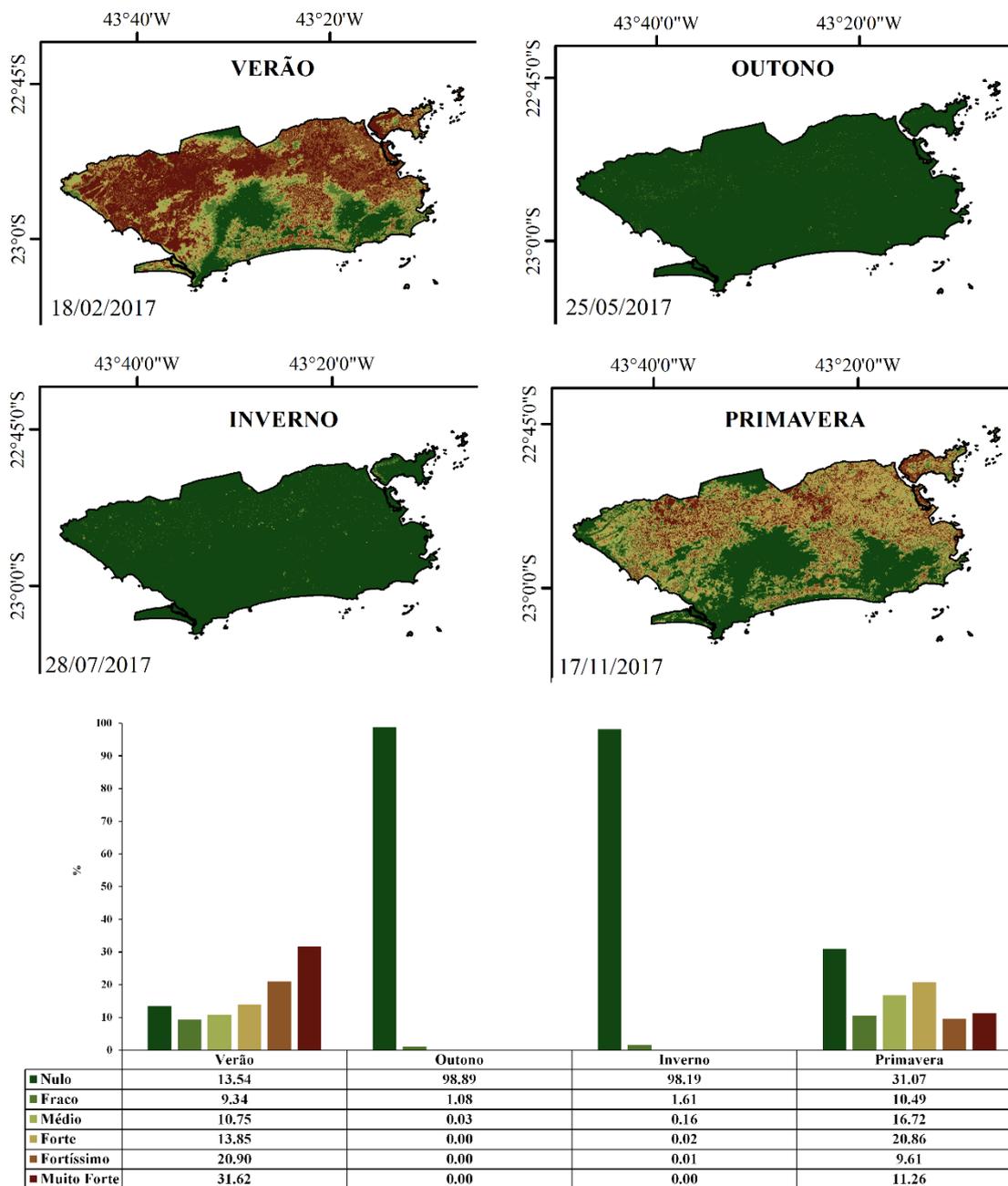
Sistema de Coordenadas Geográficas
Datum: WGS 84

0 10 20 km



Fonte: a autora.

Figura 22 - Índice de variação do campo térmico na cidade do Rio de Janeiro para o ano de 2017



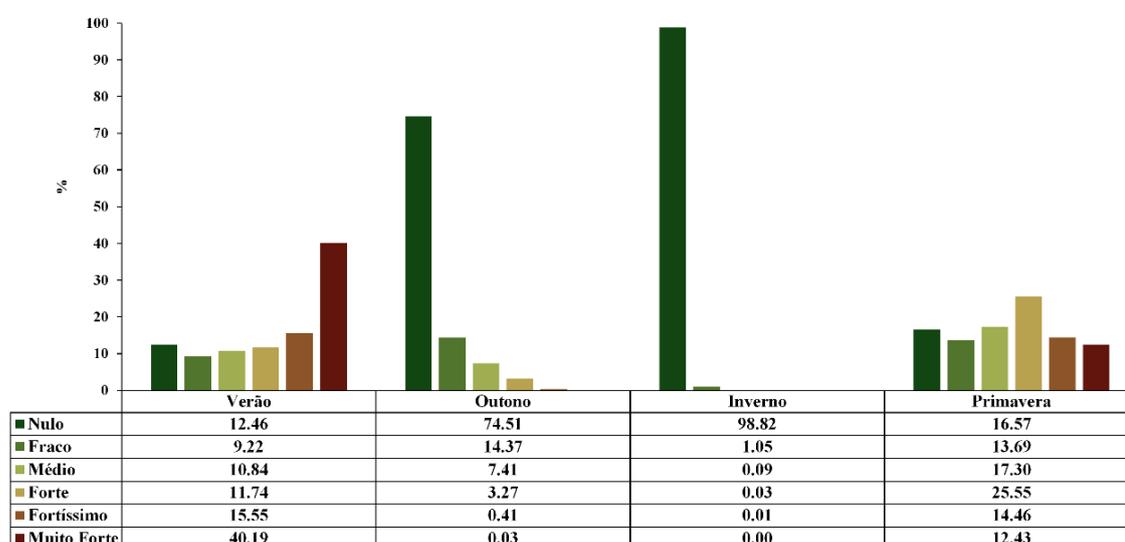
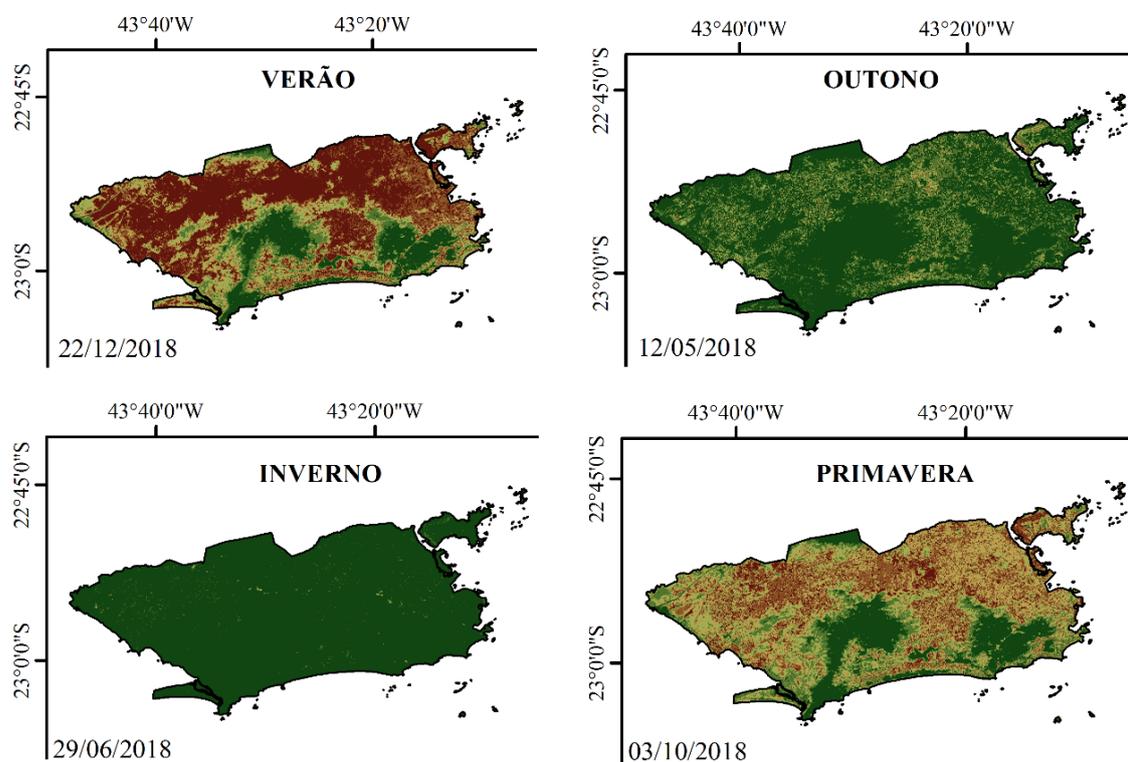
Sistema de Coordenadas Geográficas
Datum: WGS 84

0 10 20 km



Fonte: a autora.

Figura 23 - Índice de variação do campo térmico na cidade do Rio de Janeiro para o ano de 2018



Sistema de Coordenadas Geográficas
Datum: WGS 84

0 10 20 km



Fonte: a autora.

Cabe destacar que, conforme resultados para avaliação ecológica, as áreas mais urbanizadas, principalmente durante as estações mais quentes (verão e primavera) durante todos os anos, apresentam intensidade do fenômeno ilhas de calor “Muito forte”, sendo classificadas ecologicamente como péssimas. Nos períodos de outono e inverno, não foram identificadas a presença do fenômeno na cidade, tendo obtido a classificação “Nulo” em praticamente todos os anos nessas estações, com exceção para 2015 com registro na intensidade “Média”.

Os autores Santos et al., (2017), analisando a cidade de Vila Velha-ES utilizando do mesmo índice, áreas com grande adensamento urbano foram classificadas como “Péssimas”, e em contrapartida, áreas nas proximidades de vegetação, como parques e reservas naturais, obtiveram classificação “Excelente”, indo de encontro com os resultados encontrados.

5.4.1 Distribuição do índice de Variação do campo Térmico (UTFVI) por bairros nos anos de 2015 e 2018.

Na busca de averiguar mais detalhadamente a situação das ilhas de calor para a cidade, foi realizada essa análise por bairros no ano com registro das maiores temperaturas (2015) e para o ano mais recente do estudo (2018). Nas tabelas 13 e 14 encontra-se uma seleção para alguns bairros, a análise completa está disponível no Apêndice B – Tabelas 19 e 20.

Tabela 13 - Índice de variação do campo térmico distribuído por bairros para o ano de 2015

	BAIRRO	Estação do ano	Índice de Variação do campo Térmico (UTFVI)					
			Nulo	Frac o	Médio	Forte	Fortíssimo	Muito Forte
Zona Central	Benfica	Verão					0.56	99.44
		Primavera						100.00
	Centro	Verão	0.19	0.74	1.23	6.38	19.19	72.27
		Primavera	0.61	1.44	2.14	12.14	26.59	57.08
	Lapa	Verão					1.71	98.29
		Primavera					13.39	86.61
	Mangueira	Verão					12.80	87.20
		Primavera					15.11	84.89
	Santa Teresa	Verão		0.13	8.86	18.06	18.45	54.49
		Primavera		0.01	0.05	7.99	28.71	63.23
	Glória	Verão		0.38	0.82	2.52	6.11	90.17
		Primavera	0.42	0.82	3.07	6.25	27.18	62.25

Zona Sul	Botafogo	Verão			0.09	1.80	22.89	75.23
		Primavera		0.00	1.05	9.55	29.77	59.64
	Copacabana	Verão	0.05	0.26	0.46	21.19	35.17	42.87
		Primavera	0.42	0.79	1.80	30.43	35.35	31.22
	Jardim Botânico	Verão			0.15	15.57	29.01	55.27
		Primavera			0.07	8.17	42.40	49.36
	Ipanema	Verão	4.14	6.68	9.78	40.13	13.71	25.57
		Primavera	6.37	3.83	12.92	50.40	7.90	18.58
	Lagoa	Verão	13.82	24.39	6.75	8.59	11.83	34.62
		Primavera	31.18	9.25	8.63	9.90	9.72	31.33
	Rocinha	Verão	0.38	10.39	36.13	38.82	8.30	5.99
		Primavera			1.45	35.38	31.06	32.11
Zona Oeste	Jacarepaguá	Verão	2.84	9.68	16.88	18.37	14.47	37.76
		Primavera	0.01	0.29	2.50	8.19	14.65	74.35
	Barra da Tijuca	Verão	9.01	12.47	7.77	10.07	12.20	48.48
		Primavera	4.27	12.99	6.85	4.73	11.00	60.16
	Cidade de Deus	Verão						100.00
		Primavera						100.00
	Guaratiba	Verão	0.04	0.96	4.91	11.54	14.22	68.32
		Primavera	0.19	0.41	1.19	7.99	21.62	68.60
	Bangu	Verão	0.97	5.42	9.87	9.68	11.14	62.92
		Primavera			3.03	7.21	10.22	79.53
	Realengo	Verão		0.73	3.44	3.83	7.03	84.97
		Primavera			0.35	1.03	2.01	96.61
Zona Norte	Alto da Boa Vista	Verão	3.69	32.31	35.08	20.32	5.41	3.18
		Primavera	0.01	0.23	5.68	47.67	35.64	10.76
	Tijuca	Verão			3.12	17.54	10.77	68.57
		Primavera				0.32	16.18	83.50
	Abolição	Verão						100.00
		Primavera						100.00
	Méier	Verão						100.00
		Primavera						100.00
	Complexo do Alemão	Verão					0.97	99.03
		Primavera					3.35	96.65
	Galeão	Verão	0.01	0.02	0.05	0.58	4.86	94.47
		Primavera	0.00	0.07	0.20	0.77	7.55	91.41

Fonte: a autora.

Tabela 14 - Índice de variação do campo térmico distribuído por bairros para o ano de 2018

	BAIRRO	Estação do ano	Frac		Médio	Forte	Fortíssimo	Muito Forte
			Nulo	o				
Zona Central	Benfica	Verão			0.05	3.24	52.18	44.53
		Primavera			4.23	55.22	28.67	11.87
	Centro	Verão	1.25	2.05	14.56	25.44	32.99	23.71
		Primavera	3.01	13.20	28.73	33.35	9.85	11.86
	Lapa	Verão			1.85	50.65	35.53	11.97
		Primavera		0.04	39.95	50.60	2.88	6.53
	Mangueira	Verão			7.02	31.67	32.88	28.43
		Primavera		12.78	30.07	37.31	11.80	8.03
	Santa Teresa	Verão	30.96	11.32	12.71	17.88	11.03	16.10
		Primavera	28.04	17.54	22.02	14.48	10.90	7.02
Glória	Verão	0.59	1.39	8.67	25.96	24.38	39.02	
	Primavera	1.04	5.46	24.01	15.34	26.53	27.63	
Zona Sul	Botafogo	Verão	4.64	15.00	32.87	23.86	10.17	13.46
		Primavera	0.84	20.61	49.94	13.17	9.83	5.61
	Copacabana	Verão	4.17	17.54	44.64	13.13	12.82	7.70
		Primavera	8.70	53.00	18.39	10.80	7.52	1.58
	Jardim Botânico	Verão	15.64	25.97	19.18	14.65	13.65	10.90
		Primavera	6.97	35.35	23.25	14.87	13.76	5.80
	Ipanema	Verão	26.71	16.28	29.51	7.03	14.61	5.86
		Primavera	35.14	38.82	6.58	13.34	6.08	0.03
	Lagoa	Verão	48.50	10.77	8.68	11.07	11.36	9.62
		Primavera	50.18	15.87	10.98	11.72	8.57	2.68
Rocinha	Verão	32.41	30.66	27.85	3.94	3.53	1.61	
	Primavera	46.91	36.88	9.57	5.41	1.19	0.04	
Zona Oeste	Jacarepaguá	Verão	25.36	23.59	16.27	10.02	9.69	15.07
		Primavera	30.33	25.49	19.19	12.61	6.68	5.72
	Barra da Tijuca	Verão	27.24	10.71	13.21	13.03	14.46	21.35
		Primavera	33.96	14.49	15.63	15.98	12.06	7.88
	Cidade de Deus	Verão				0.17	12.00	87.83
		Primavera			1.76	79.24	7.76	11.23
	Guaratiba	Verão	6.01	12.76	21.87	16.64	14.87	27.85
		Primavera	11.44	28.40	26.15	18.03	10.36	5.62
	Bangu	Verão	8.98	12.67	7.01	10.73	10.73	49.88
		Primavera	20.32	8.04	13.29	25.21	21.36	11.78
Realengo	Verão	3.16	3.64	6.65	12.11	13.66	60.78	
	Primavera	5.05	4.28	9.02	28.82	32.72	20.11	
Zona Norte	Alto da Boa Vista	Verão	85.62	8.57	3.07	1.49	0.63	0.62
		Primavera	87.93	8.13	2.49	0.91	0.41	0.13
	Tijuca	Verão	18.53	11.46	7.24	26.62	15.73	20.41
		Primavera	16.04	13.81	28.13	21.20	9.13	11.68
	Abolição	Verão					2.08	97.92
		Primavera			0.47	54.37	34.84	10.32
	Méier	Verão			0.02	1.03	47.89	51.06

Zona Norte	Complexo do Alemão	Primavera	0.42	1.94	75.50	11.17	10.97	
		Verão		2.49	24.55	42.88	30.08	
	Galeão	Primavera	2.33	46.23	26.95	10.06	14.43	
		Verão	0.03	2.26	12.63	12.62	13.30	59.17
		Primavera	0.98	10.21	16.25	16.72	27.00	28.85

Fonte: a autora.

Os resultados detalhados dessas análises servem como um alerta, e como ponto de referência na estratégia de ações para o poder público na busca de melhorias em alguns bairros da cidade, principalmente, os classificados como “péssimos”, conforme indicado pelo índice. Mudanças climáticas bruscas estão cada vez mais iminentes no cenário atual. São uma realidade, portanto a busca de melhorias nessas áreas é extremamente importante.

Para Pinheiro e Souza, (2017) a gestão pública detém de um papel preponderante no desenvolvimento sustentável das cidades, tendo em vista que diversos impactos ambientais, conforme foram verificados e confirmados nessa pesquisa, podem surgir devido a alterações no ambiente de forma mal planejada ou desordenada.

Em alguns bairros, mesmo vegetados apresentaram classificações ruins. Esse resultado, demonstra a importância do planejamento urbano e estudo das espécies adequadas para compor o projeto urbanístico de forma a atender as necessidades de cada realidade. Pesquisas demonstram (Chebel et al., 2011; Ferreira; Carrilho; Mendes, 2015) que para cada finalidade de amenização há uma configuração e espécie arbórea indicada, essa pode ser portanto, uma possível explicação para as avaliações ruins em determinadas áreas mesmo vegetadas.

Outro fator intimamente relacionado a essa questão, de áreas com alto vigor vegetativo estarem classificadas como ruins, podem estar atreladas ao fato, de alguns desses locais serem bairros nobres da cidade, ou seja, supostamente, com grande utilização de aparelhos de ar condicionado. Esses aparelhos são responsáveis por liberar calor antropogênico e contribuir com o aquecimento do ar nas áreas próximas à sua utilização. A verticalização dos prédios, também contribui, reduzindo o fluxo de vento, o que coincidentemente infere diretamente na temperatura.

De acordo com King e Davis (2007), a verticalização de prédios cria condições para o aquecimento uma vez que, durante o dia a radiação solar é capturada pelos diversos reflexos dos prédios, enquanto a perda de energia

infravermelha é reduzida pela absorção. O calor irradiado pelos veículos, é também outro fator que atua diretamente no aquecimento, sendo que a sua contribuição pode corresponder a um terço da energia solar recebida.

Entretanto, mesmo com algumas classificações ruins, nas áreas vegetadas prevalecem classificações significativamente melhores que em áreas praticamente “nuas” de vegetação, como o Centro da cidade por exemplo que em situações de temperaturas rigorosas como no verão de 2015 que estava sob a influência do fenômeno climático *EL Niño* apresentou classificação para todos bairros destacados com intensidade muito forte de ilhas de calor. É notório que os bairros das regiões dos subúrbios são, em geral, os que apresentaram piores classificações.

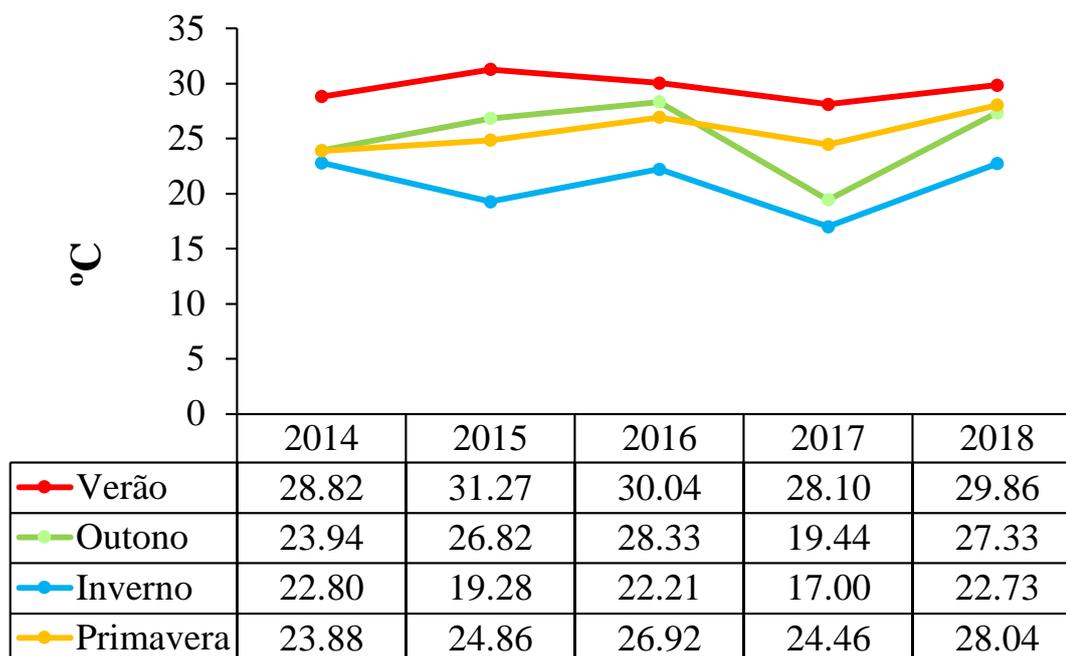
Embora, esteja atualmente mais que comprovado a importância das áreas verdes, as políticas públicas ainda são bastante incipientes nesse aspecto, poucas cidades no País apresentam adequado planejamento de arborização urbana. Ainda, muitas vezes, pela própria sociedade é vista como um problema, devido ao confronto de árvores com equipamentos urbanos como fiações elétricas, encanamentos, calçamentos, muros e postes de iluminação, problemas esses oriundos da falta de planejamento urbanístico quanto a esse aspecto (MARTELLI; RODRIGUES, 2015).

5.5 Análise do Conforto térmico urbano

De acordo com Souza e Nery (2012), estudos das consequências das ilhas de calor urbanas tem cada vez mais ressaltado e demonstrado a necessidade do conhecimento da problemática do conforto térmico, uma vez que a sensação térmica percebida pelo indivíduo está intimamente relacionada a questões como: saúde pública; rentabilidade no trabalho; consumo de energia, ou seja inerente a qualidade de vida.

Assim sendo, os resultados estimados na cidade do Rio de Janeiro para o índice de Temperatura e Umidade – ITU, estão demonstrados na Figura 24, seguindo os níveis de conforto propostos pelo índice apresentados anteriormente.

Figura 24 - Gráfico representativo da sensação de conforto térmico para os anos de 2014 a 2018 conforme índice ITU



Fonte: a autora.

Seguindo os critérios de classificação adotados por Nóbrega e Lemos (2011), na estação do verão para todos anos estudados, a cidade encontra-se em nível de extremo desconforto atingindo temperaturas acima dos 26 °C. Do ponto de vista do conforto térmico urbano esses resultados demonstram preocupação quanto à qualidade de vida da população.

Os reflexos do aumento da quantidade de prédios e superfícies asfálticas, frutos da crescente urbanização nos últimos anos, apresenta consequências diretas na sensação térmica percebida pela população. A alteração do clima devido as ações antrópicas geradas na superfície, levam a esse padrão de desconforto térmico, principalmente nos períodos mais quentes (SOUZA; SILVA, 2017).

Conseqüentemente, esse aumento das temperaturas, e consecutivo desconforto térmico, levam ao maior uso de aparelhos de ar condicionado, na busca de amenização das temperaturas, exacerbando de forma expressiva a poluição do ar e as emissões de gases de efeito estufa. Além disso, a ocorrência de doenças relacionadas ao calor, podem ocasionar a elevação das taxas de mortalidade, sobretudo nas populações mais carentes, desprovidas de condições de acesso à formas de mitigação do calor (FILHO et al., 2018).

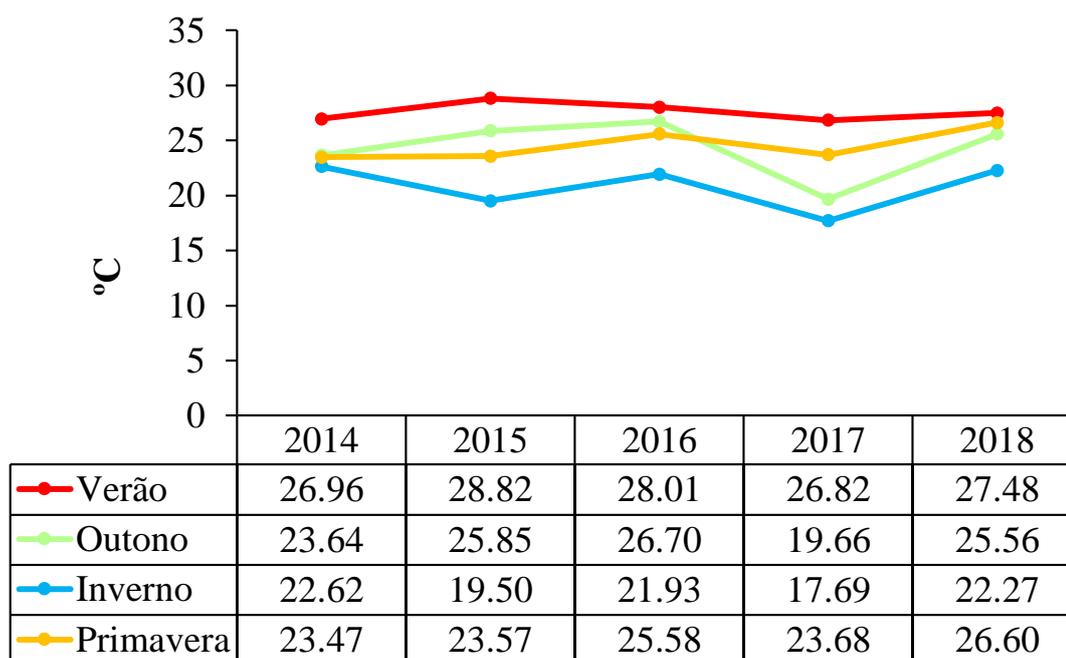
De acordo com a OMS (2012), o calor excessivo é uma crescente ameaça à

saúde pública, estando entre os grupos mais vulneráveis: idosos, doentes crônicos, populações socialmente carentes e isoladas, trabalhadores em ambientes expostos e crianças.

No outono, os anos de 2014 e 2017 apresentaram dias confortáveis, tendo os demais anos o predomínio de dias “Extremamente desconfortáveis”. O inverno para todos anos foi classificado como “Confortável”. Na primavera foram encontradas variações entre os anos: tendo o registro de “confortável” no ano de 2014; “Levemente desconfortável” em 2015 e 2017; e “Extremamente desconfortável” nos anos de 2016 e 2018.

Na Figura 25 é possível observar os resultados encontrados para o índice de desconforto térmico - IDT.

Figura 25 - Gráfico representativo da sensação de conforto térmico para os anos de 2014 a 2018 conforme índice IDT



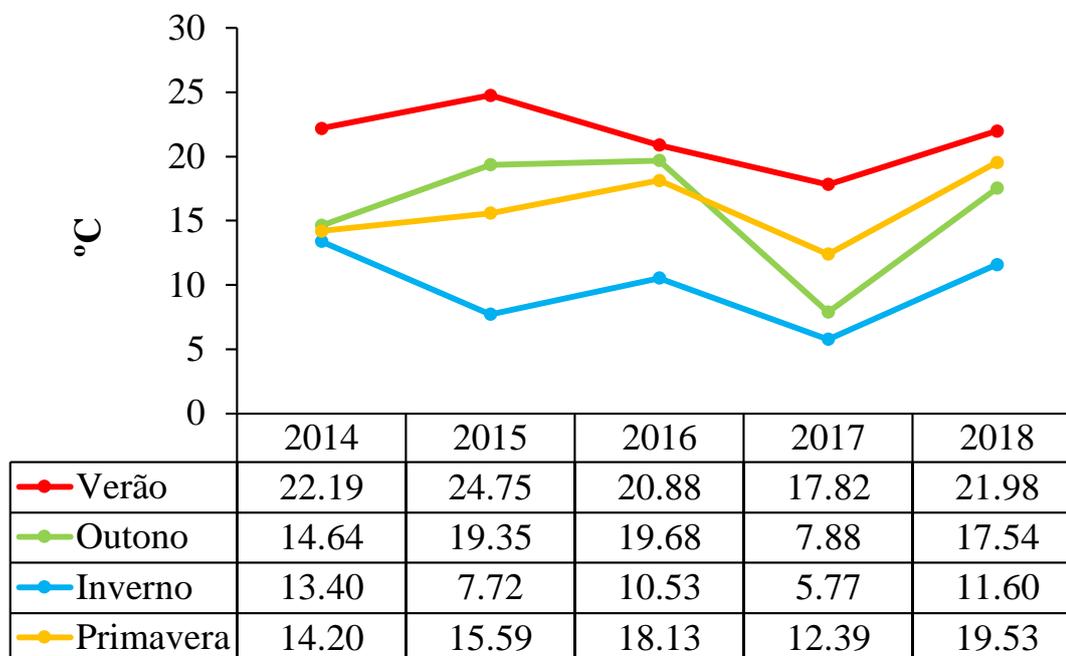
Fonte: a autora.

No verão, constata-se o domínio de dias “Desconfortáveis” e “Muito desconfortável” para todos anos e estações analisadas. Entretanto, nota-se que no geral dias classificados como “confortáveis” e “parcialmente confortáveis” sobressaem na cidade.

O índice de temperatura efetiva em função do vento além da temperatura do ar e umidade relativa, como o próprio nome sugere leva também em consideração

na sua análise o vento, curiosamente os resultados para esse índice foram os mais controversos, conforme podemos visualizar no gráfico da Figura 26.

Figura 26 - Gráfico representativo da sensação de conforto térmico para os anos de 2014 a 2018 conforme índice TEV



Fonte: a autora.

Dentre os demais índices analisados foi o que apresentou maior presença de dias termicamente mais agradáveis, entretanto observa-se, para este índice, uma tendência ao resfriamento que muitas vezes não são condizentes com a situação do conforto térmico real. Em situações de pouco vento o índice tende a maximizar o resfriamento pelo vento, gerando um erro no resultado real do conforto térmico observado (GOBO et al., 2017).

Especialmente no período do inverno as faixas térmicas classificadas durante todos os anos foram de dias classificados em: “Ligeiramente frio” em 2014; “Frio” em 2015; “moderadamente frio” em 2016; “Frio” em 2017 e “Moderadamente frio” em 2018, indicando extremo grau de estresse fisiológico ao frio em grande parte dos anos.

Em 2014 na estação do verão a classificação para a cidade foi “Confortável”, e para todas demais estações os dias foram classificados como “Ligeiramente frio”. No ano de 2015 o verão ficou classificado como “Confortável”, o outono

“Ligeiramente fresco” e a primavera “Pouco frio”. Em 2016, as estações verão e outono ficaram classificadas como “Ligeiramente fresco”, e a primavera “Pouco frio”. No ano de 2017, seguiu um padrão de resfriamento para todas estações variando nas faixas de “Frio” a “Pouco frio”. Em 2018 foram de “Ligeiramente frio” a “Ligeiramente fresco”.

Os resultados do índice “TEV” não demonstraram nenhuma sensação térmica desagradável ao calor em nenhum dos anos e estações, contrapondo-se aos resultados dos outros índices para o mesmo período de estudo. Embora cada índice classifique a sensação de conforto em faixas diferentes tamanha discrepância sugere que para a área de estudo, nas condições analisadas sua aplicação não tenha sido adequada.

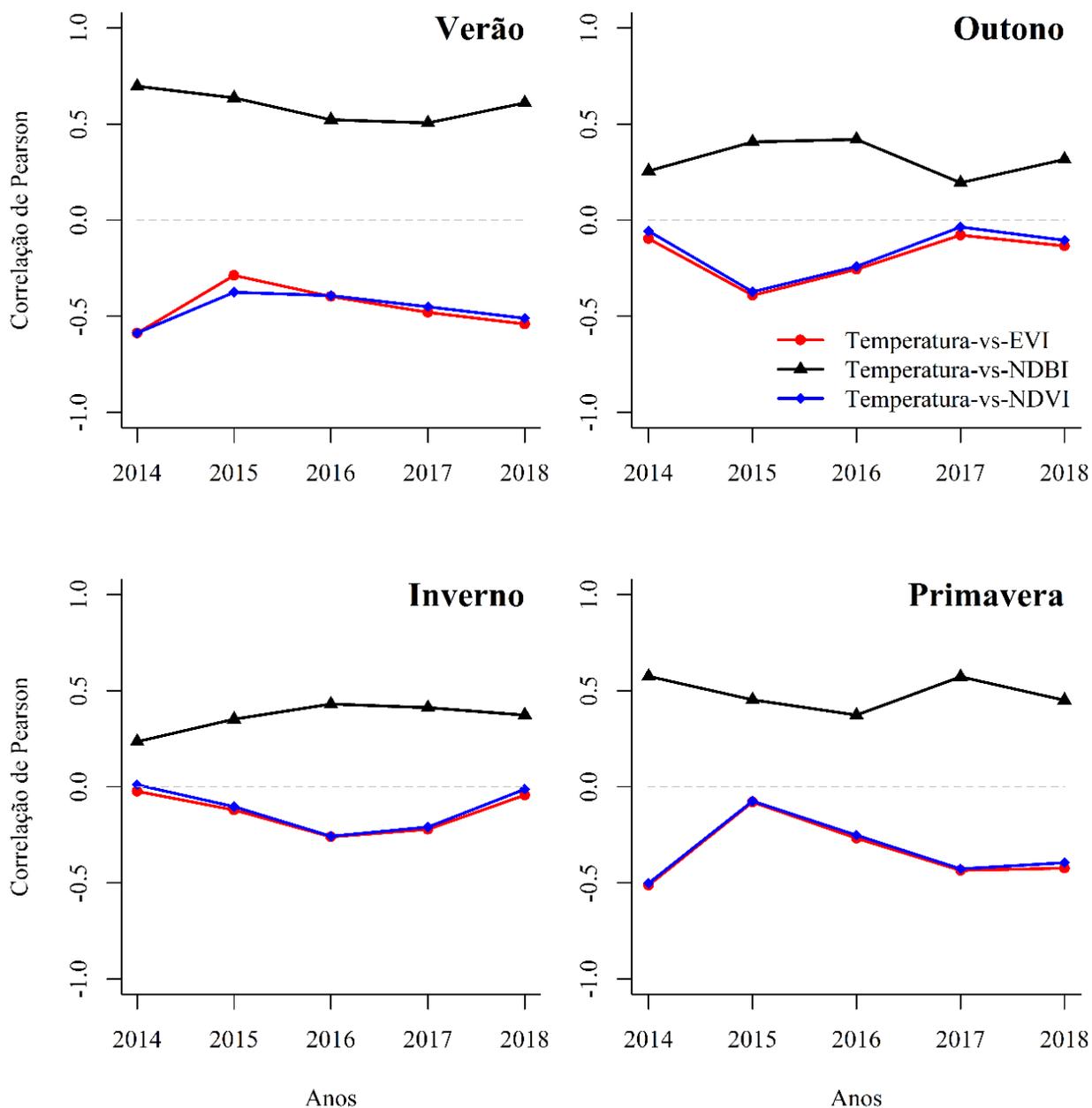
Comparando os índices, de uma maneira geral, constata-se que, as faixas de classificações adotadas pelos índices restringem um pouco a compreensão da real sensação térmica percebida. Dessa forma, dentre suas limitações de aplicações, para o Rio de Janeiro o Índice de temperatura efetiva em função do vento – TEV foi o que apresentou resultados mais insatisfatórios não condizendo tanto com a sensação térmica real percebida, faixas de classificação mais satisfatórias para a cidade foram obtidas por meio do Índice de temperatura e umidade – ITU e pelo Índice de desconforto térmico - IDT.

De acordo com Jain et al., (2019), a compreensão do ambiente térmico urbano é, portanto, uma das principais questões ambientais da atualidade, levando a uma necessidade de planejamento urbano que se concentre em estratégias para criar condições de vida confortáveis para os cidadãos.

5.6 Análise de correlação de Pearson

Buscando entender a relação entre urbanização e a vegetação, foram realizadas análises de correlação entre os Índices de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Vegetação Melhorado (EVI) e índice de área construída (NDBI) com as temperaturas da superfície terrestre obtidas para todos os anos em cada estação do ano estudada. Na figura 27 estão dispostos os resultados das correlações para todo período de estudo (2014-2018).

Figura 27 - Correlação de *Pearson* entre Temperatura com os índices EVI, NDBI e NDVI para os anos analisados (2014-2018)



Fonte: a autora.

Os valores dos coeficientes de correlação de *Pearson* encontrados em cada análise estão especificados na Tabela 15.

Tabela 15 - Coeficientes de correlação entre temperatura da superfície com os índices EVI, NDBI e NDVI entre os anos de 2014-2018

Estação	Anos	Temperatura-vs-EVI	Temperatura-vs-NDBI	Temperatura-vs-NDVI
		R		
Verão	2014	-0.59	0.70	-0.59
	2015	-0.29	0.64	-0.37
	2016	-0.40	0.52	-0.39
	2017	-0.48	0.51	-0.45
	2018	-0.54	0.61	-0.51
Outono	2014	-0.10	0.26	-0.06
	2015	-0.39	0.41	-0.37
	2016	-0.26	0.42	-0.24
	2017	-0.08	0.19	-0.04
	2018	-0.13	0.32	-0.10
Inverno	2014	-0.02	0.24	0.01
	2015	-0.12	0.35	-0.10
	2016	-0.26	0.43	-0.26
	2017	-0.22	0.41	-0.21
	2018	-0.04	0.37	-0.01
Primavera	2014	-0.51	0.58	-0.50
	2015	-0.08	0.45	-0.07
	2016	-0.27	0.37	-0.25
	2017	-0.44	0.57	-0.43
	2018	-0.42	0.45	-0.39

Fonte: a autora.

O coeficiente de correlação de *Pearson* (r) mensura o grau da relação linear entre duas variáveis quantitativas. É um índice que apresenta variação de valores de -1 a 1. O sinal indica a direção do relacionamento (positiva ou negativa) e o valor sugere a força da relação entre as variáveis. Quanto mais próxima de 1, mais forte e o nível de relação linear entre variáveis; ($r= 1$) indica portanto, uma correlação

positiva perfeita ou seja quando uma variável aumenta a outra também; ($r = -1$) demonstra a existência de uma correlação negativa perfeita, ou seja a medida que uma variável aumenta, a outra sempre diminui. E quanto mais próximo de zero menor o nível de associação ($r = 0$), indica que não há uma relação linear entre as variáveis, são ortogonais entre si, ou seja ausência de correlação (PARANHOS et al., 2014).

Dessa forma, neste estudo foi verificado na análise entre temperatura da superfície e índice de vegetação melhorado (EVI) uma correlação negativa para todos anos estudados. Esses resultados evidenciam que as áreas com maiores percentuais de vegetação tendem a apresentar temperaturas mais baixas.

O mesmo padrão de coeficiente negativo para todos os anos aconteceu na comparação das variáveis NDVI e temperatura, ou seja, na medida que surge um aumento no percentual de vegetação presente na área, a temperatura tende a apresentar uma queda, evidenciando mais um vez o papel crucial da vegetação como atenuante da temperatura.

Esse coeficiente de correlação negativo entre temperatura e índices de vegetação indicam o impacto positivo que as áreas verdes possuem sobre a temperatura mostrando que são capazes de enfraquecer o efeito das ilhas de calor urbanas (SANTAMOURIS, 2013). Podendo ser explicado pelo fato da cobertura vegetal reduzir a temperatura da superfície e do ar, fornecendo sombra e evapotranspiração (SHIRANI-BIDABADI et al., 2019).

Os resultados das correlações entre os índices de vegetação confirmam, portanto, o importante papel da vegetação na mitigação dos efeitos das ilhas de calor urbana, tendo diversos estudos encontrado resultados semelhantes (Li et al., 2012; Myint et al., 2013; Zhou et al., 2014), onde as áreas verdes foram indicadas como ilhas de amenização, padrão esse confirmado por meio dos resultados dessas pesquisas onde as correlações também apresentaram o coeficiente negativo entre a temperatura e índices de vegetação.

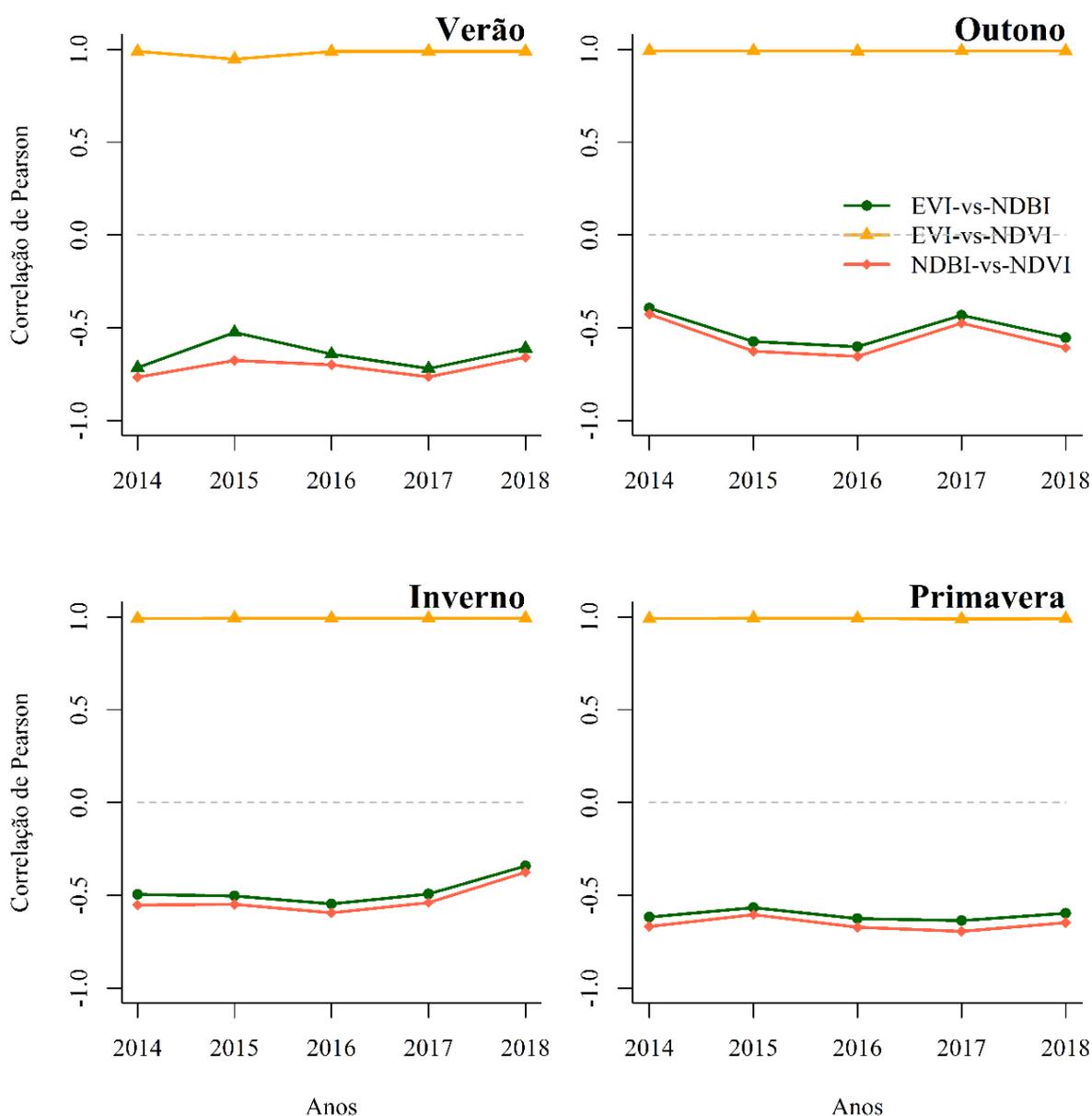
Em contrapartida, em se tratando da relação das áreas construídas com a temperatura, ficou evidente a influência que os ambientes urbanos podem exercer no aumento da temperatura, uma vez que foram encontradas correlações positivas para todos anos entre temperatura e o NDBI. Os autores Dwivedi e khire, (2018) confirmaram em sua pesquisa que o aumento da urbanização é a principal causa de redução das áreas verdes, e por conseguinte o aumento da temperatura.

Embora as magnitudes dos relacionamentos não tenham sido tão fortes em

alguns períodos, a direção é reveladora. A relação positiva dos valores entre temperatura e NDBI revela o impacto do aquecimento de áreas superficiais acumuladas e impermeáveis na temperatura da superfície, enquanto a relação negativa dos valores temperatura e índices de vegetação determinou o impacto do resfriamento pelas áreas verdes (ALFRAIHAT; MULUGETA; GALA, 2016).

A fim de verificar a influência dos índices EVI, NDVI e NDBI na formação da paisagem urbana foi realizada uma análise de correlação entre esses índices uns com os outros. Na figura 28 é possível visualizar os resultados encontrados nessa análise.

Figura 28 - Correlação de *Pearson* entre os índices EVI, NDBI e NDVI para os anos analisados (2014-2018)



Fonte: a autora.

Na tabela 16 encontram-se os valores dos coeficientes para cada ano e estação analisada.

Tabela 16 - Coeficientes de correlação entre os índices EVI, NDVI e NDBI

Estação	Ano	EVI-vs-NDBI	EVI-vs-NDVI	NDBI-vs-NDVI
			R	
Verão	2014	-0.72	0.99	-0.77
	2015	-0.52	0.95	-0.68
	2016	-0.64	0.99	-0.70
	2017	-0.72	0.99	-0.76
	2018	-0.61	0.99	-0.66
Outono	2014	-0.39	0.99	-0.43
	2015	-0.57	0.99	-0.63
	2016	-0.60	0.99	-0.65
	2017	-0.43	0.99	-0.47
	2018	-0.55	0.99	-0.61
Inverno	2014	-0.50	0.99	-0.55
	2015	-0.50	0.99	-0.55
	2016	-0.55	0.99	-0.59
	2017	-0.49	0.99	-0.54
	2018	-0.34	0.99	-0.38
Primavera	2014	-0.62	0.99	-0.67
	2015	-0.57	0.99	-0.60
	2016	-0.63	0.99	-0.67
	2017	-0.64	0.99	-0.69
	2018	-0.60	0.99	-0.65

Fonte: a autora.

Observa-se que foram encontradas correlações negativas bem fortes entre o NDBI e os índices de vegetação NDVI e EVI em praticamente os todos anos, confirmando a relação que a medida que uma variável aumenta a outra diminui, ou seja, a influência direta que o crescimento urbano atua na supressão da vegetação urbana. Em sua pesquisa Alfraihat, Mulugeta e Gala (2016), analisando a intensidade da ilha de calor na cidade de Chicago-EUA, encontraram também uma alta correlação negativa (-0.90) entre o NDBI e NDVI, indicando a diminuição da cobertura vegetal na medida que o uso e ocupação da terra vai sendo substituído por áreas construídas.

Entre os índices EVI e NDVI há uma relação linear positiva forte, indicando que ambos vão aumentando em conjunto.

6 CONCLUSÕES

O padrão de modificação sofrido no uso e ocupação da terra, sobretudo em grandes centros urbanos como a cidade do Rio de Janeiro, contribuí diretamente para a formação de ilhas de calor, estando sua configuração espacial intimamente relacionada com a classificação termal.

Foram encontradas variações de temperatura significantes, principalmente entre as áreas com menor vigor vegetativo, estando comprovado através dos coeficientes de correlação (negativos) entre temperatura e índices de vegetação a influência positiva que as áreas verdes exercem na atenuação da temperatura. Os valores de coeficientes (positivos) entre a temperatura e áreas construídas (NDBI) servem como indicadores da forte influência das modificações sofridas no uso e ocupação da terra para urbanização no aumento da temperatura na cidade.

Dessa forma, estudos relacionados ao conforto térmico urbano são importantes para auxiliar no planejamento e na gestão do espaço urbano, contribuindo para o desenvolvimento de ambientes termicamente mais agradáveis para a população.

A metodologia empregada tem potencial de ser aplicada para o estudo comportamental das ilhas de calor urbanas para outras cidades do mundo.

7 REFERÊNCIAS

- ACERO, J. A.; GONZÁLEZ-ASENSIO, B. Influence of vegetation on the morning land surface temperature in a tropical humid urban area. **Urban Climate**, v. 26, p. 231–243, 2018.
- ALBUQUERQUE, M. M.; LOPES, W. G. R. Influência da vegetação em variáveis climáticas: estudo em bairros da cidade de Teresina, Piauí. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 36, p. 38, 10 maio 2016.
- ALFRAIHAT, R.; MULUGETA, G.; GALA, T. S. Ecological Evaluation of Urban Heat Island in Chicago City, USA. **Journal of Atmospheric Pollution**, Vol. 4, 2016, Pages 23-29, v. 4, n. 1, p. 23–29, 2016.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 1 dez. 2013.
- ANDRADE, L. P. de et al. Efeitos de borda sobre o microclima de um parque ecológico urbano em Cuiabá-MT. **Revista Estudo & Debate**, v. 23, n. 2, 2016.
- ARMSON, D.; STRINGER, P.; ENNOS, A. R. The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area. **Urban Forestry and Urban Greening**, v. 11, n. 3, p. 245–255, 2012.
- BARBIRATO, G.M.; SOUZA, L.C.L.; TORRES, S. C. **Clima e Cidade: a Abordagem Climática como Subsídios**. Maceió/AL: EDUFAL, 2007.
- BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo-SP. **Geosp – Espaço e Tempo (Online)**, v. 20, n. 1, p. 160–177, 2016.
- BOKAIE, M. et al. Assessment of Urban Heat Island based on the relationship between land surface temperature and Land Use/ Land Cover in Tehran. **Sustainable Cities and Society**, v. 23, p. 94–104, 1 maio 2016.
- BRASIL. **LEI Nº 9.985, DE 18 DE JULHO DE 2000**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm>. Acesso em: 29 mar. 2020.
- CARVALHO, J. S. et al. Avaliação de Conforto Térmico Urbano, com base em dados de temperatura - Um estudo de caso na cidade de Manaus. **Revista Scientia Amazonia**, v. 3, n. 1, p. 65–74, 2014.
- CHEBEL, L. et al. Vegetação e conforto térmico em espaços urbanos abertos. **Fórum Patrimônio**, v. 4, n. 1, p. 1–19, 2011.
- DIMOUDI, A.; NIKOLOPOULOU, M. Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 1, p. 69–76, 2003.
- DWIVEDI, A.; KHIRE, M. V. Application of split- window algorithm to study Urban Heat Island effect in Mumbai through land surface temperature approach. **Sustainable Cities and Society**, v. 41, p. 865–877, 2018.
- EPA. **Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos - EPA**. Disponível em:

<<https://www.epa.gov/>>. Acesso em: 4 fev. 2020.

FANTE, K. P.; DUBREUIL, V.; SANT'ANNA NETO, J. L. Avaliação comparativa entre metodologias de identificação de situações de conforto térmico humano aplicado ao contexto tropical, Presidente Prudente/Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, n. 13, p. 588–612, 2017.

FERREIRA, L.; CARRILHO, S.; MENDES, P. Áreas Verdes Urbanas: Uma Contribuição Aos Estudos Das Ilhas De Frescor. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium**, v. 6, n. 2, p. 101–120, 2015.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico: arquitetura e urbanismo**. 7. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

FU, P.; WENG, Q. A time series analysis of urbanization induced land use and land cover change and its impact on land surface temperature with Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 175, p. 205–214, 2016.

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

GHENO, E. L.; FRANÇA, M. S. de; MAITELLI, G. T. Variações microclimáticas na área urbana de Sinop/Mt no final da estação chuvosa. **Revista Educação, Cultura e Sociedade**, v. 2, n. 1, p. 139–153, 2012.

GILL, S. E. et al. Modelling water stress to urban amenity grass in Manchester UK under climate change and its potential impacts in reducing urban cooling. **Urban Forestry and Urban Greening**, v. 12, n. 3, p. 350–358, 2013.

GOBO, J. P. A. et al. Avaliação da percepção climática de homens e mulheres e do conforto térmico em Santa Maria – RS. **Boletim Paulista de Geografia**, v. 96, p. 31–50, 2017.

_____. Calibração das faixas de conforto térmico humano para espaços abertos em clima subtropical. **Revista do Departamento de Geografia**, v. Edição esp, n. 2236–2878, p. 129–139, 2018.

GOMES, L. C. .; SANTOS, C. A. .; ALMEIDA, H. Balanço de Energia à Superfície para a Cidade de Patos - PB Usando Técnicas de Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 1, p. 015–028, 2013.

GOMES, M. A. S.; AMORIM, M. C. C. T. Arborização e conforto térmico no espaço urbano: estudo de caso nas praças públicas de Presidente Prudente (SP). **Revista Caminhos de Geografia**, v. 7, n. 10, p. 94–106, 2003.

GRISE, M. M.; BIONDI, D.; ARAKI, H. Índices espaciais da floresta urbana de Curitiba-PR. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 13, n. 4, p. 01, 2018.

GUEDES, J. C. F.; SILVA, S. M. P. da. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: princípios físicos, sensores e métodos. **Revista Acta Geográfica**, v. 12,

p. 127–144, 2018.

GUNAWARDENA, K. R.; WELLS, M. J.; KERSHAW, T. Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. **Science of the Total Environment**, v. 584–585, p. 1040–1055, 15 abr. 2017.

HENKE-OLIVEIRA, C. **Planejamento ambiental na Cidade de São Carlos (SP) com ênfase nas áreas públicas e áreas verdes: diagnóstico e propostas**. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, set. 1996.

HUANG, J.; LU, X. X.; SELLERS, J. M. A global comparative analysis of urban form: Applying spatial metrics and remote sensing. **Landscape and Urban Planning**, v. 82, n. 4, p. 184–197, 17 out. 2007.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/rio-de-janeiro/panorama>>. Acesso em: 5 mar. 2018.

INEA. **Instituto Estadual do Ambiente - INEA**. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/Portal/Agendas/BIODIVERSIDADEEAREASPROTEGIDAS/UnidadesdeConservacao/index.htm&lang=PT-BR#/ProtecaoIntegral>>. Acesso em: 13 mar. 2020.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

INPE. **El Niño e La Niña - CPTEC/INPE**. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 23 nov. 2019.

JAIN, S. et al. Urban heat island intensity and its mitigation strategies in the fast-growing urban area. **Journal of Urban Management**, 2019.

JATO-ESPINO, D. Spatiotemporal statistical analysis of the Urban Heat Island effect in a Mediterranean region. **Sustainable Cities and Society**, v. 46, p. 101427, 2019.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto: uma perspectiva em recursos terrestre**. 1. ed. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

JUSTICE, C. O. et al. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 36, n. 4, p. 1228–1249, 1998.

KIM, H.; GU, D.; KIM, H. Y. Effects of Urban Heat Island mitigation in various climate zones in the United States. **Sustainable Cities and Society**, v. 41, p. 841–852, 2018.

KING, V. J.; DAVIS, C. A case study of urban heat islands in the Carolinas. **Environmental Hazards**, v. 7, n. 4, p. 353–359, 1 jan. 2007.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A. **Conforto e Stress Térmico**. Santa Catarina: Apostila do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal De Santa Catarina - UFSC, 2013.

LEAL FILHO, W. et al. Coping with the impacts of urban heat islands. A literature based study on understanding urban heat vulnerability and the need for resilience in cities in a global climate change context. **Journal of Cleaner Production**, v. 171, p. 1140–1149, 2018.

LI, X. et al. Spatial pattern of greenspace affects land surface temperature: Evidence from the heavily urbanized Beijing metropolitan area, China. **Landscape Ecology**, v. 27, n. 6, p. 887–898, 2012.

LIU, W. T. H. **Aplicações do sensoriamento remoto**. 2. ed. Campo Grande: Uniderp, 2015.

LUCENA, A. J. de et al. Urban climate and clues of heat island events in the metropolitan area of Rio de Janeiro. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 111, n. 3–4, p. 497–511, 2013.

LUCON, T. N. et al. Índice e percentual de áreas verdes para o perímetro urbano de Ouro Preto – MG. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 8, n. 3, p. 63, 2019.

MAPBIOMAS. **Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil - Mapbiomas**. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/>>. Acesso em: 21 dez. 2019.

MARKHAM, B. L.; BARKER, J. L. Spectral characterization of the LANDSAT Thematic Mapper sensors. **International Journal of Remote Sensing**, v. 6, n. 5, p. 697–716, 1985.

MARTELLI, A.; RODRIGUES, A. R. S. Arborização Urbana Do Município De Itapira – Sp: Perspectivas Para Educação Ambiental E Sua Influência No Conforto Térmico. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 1018–1031, 2015.

MARTINI, A.; BIONDI, D. Microclima e conforto térmico de um fragmento de floresta urbana em Curitiba, PR. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 2, p. 182–193, 2015.

MASHIKI, M. Y. **Geoprocessamento na identificação de ilhas de calor e influência do uso e ocupação do solo na temperatura aparente da superfície no município de Botucatu/SP**. Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP – Câmpus de Botucatu. Botucatu, 2012.

MENEZES, W. D. A.; MENDES, L. D. A heterogeneidade e dinâmicas da paisagem na interação terra-atmosfera no município de Nova Iguaçu (RJ) a partir da aplicação de geotecnologias livres. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, 2017.

METEOROLOGIA APLICADA A SISTEMAS DE TEMPO REGIONAIS (MASTER – IAG/USP). **Distribuição das zonas de conforto para diferentes graus de percepção térmica e suas respostas fisiológicas**. Disponível em: <http://www.masterantiga.iag.usp.br/conforto/previsao.php?ant=&var=temp_efet_v&t=2&gr=1&pref=VP&inic=00>. Acesso em: 5 maio 2019.

MISSENARD. **L’Homme et le climat**. Paris: Population, 1937.

MORAKINYO, T. E. et al. A study on the impact of shadow-cast and tree species on

- in-canyon and neighborhood's thermal comfort. **Building and Environment**, v. 115, p. 1–17, 2017.
- MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853–858, 24 fev. 2000.
- MYINT, S. W. et al. The impact of distinct anthropogenic and vegetation features on urban warming. **Landscape Ecology**, v. 28, n. 5, p. 959–978, 2013.
- NASCIMENTO, D. T. F.; OLIVEIRA, I. J. Análise da evolução do fenômeno de ilhas de calor no município de Goiânia-GO. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 31, n. 2, p. 113–127, jan. 2012.
- NEIVA, H. .; CATTAE, J. A ilha de calor e frescor na cidade do Rio de Janeiro: estudo de caso dos bairros Méier e Jardim Botânico. 2014, Vitória: **CONGRESSO BRASILEIRO DE GEÓGRAFOS**, 2014. p. 1–12.
- NÓBREGA, R. S.; LEMOS, T. V. da S. O microclima e o (Des)conforto térmico em ambientes abertos na cidade do Recife. **Revista de Geografia**, v. 28, n. 1, p. 93–109, 2011.
- NOVAIS, J. W. Z. et al. A melhoria climática e conforto térmico proporcionado pela arborização em uma escola estadual em Várzea Grande – MT. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 12, n. 3, p. 1, 2017.
- OKE, T. **Boundary Layer climates**. 2. ed. London: Methuen, 1987.
- OMS, O. M. de la S. **Atlas de la salud y del clima**. Ginebra, 2012.
- ORTIZ, G.; AMORIM, M. Ilhas De Calor Em Cândido Mota/Sp: Algumas Considerações. **Formação (Online)**, v. 1, n. 18, p. 238–257, 2012.
- PAIVA, H. N. de; GONÇALVES, W. **Florestas Urbanas: planejamento para melhoria da qualidade de vida**. 2. ed. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2002.
- PARANHOS, R. et al. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson: o Retorno. **Leviathan (São Paulo)**, n. 8, p. 66, 2014.
- PERES, L. de F. et al. The urban heat island in Rio de Janeiro, Brazil, in the last 30 years using remote sensing data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 64, p. 104–116, 2018.
- PINHEIRO, C. R.; SOUZA, D. D. de. A importância da arborização nas cidades e sua influência no microclima. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 67, 2017.
- PINTO, L. V. A. et al. Caracterização física da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG e uso conflitante da terra em suas áreas de preservação permanente. **Cerne**, v. 11, n. 1, p. 49–60, 2005.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. 2. ed. São José dos Campos, SP: Oficina de Textos, 2012.

- PREFEITURA, do RJ. **Alerta Rio**. Disponível em: <www.rio.rj.gov.br/alertario>. Acesso em: 14 jul. 2019.
- RASUL, A.; BALZTER, H.; SMITH, C. Spatial variation of the daytime Surface Urban Cool Island during the dry season in Erbil, Iraqi Kurdistan, from Landsat 8. **Urban Climate**, v. 14, p. 176–186, 2015.
- RILEY, C. et al. Asset or Liability? Ecological and Sociological Tradeoffs of Urban Spontaneous Vegetation on Vacant Land in Shrinking Cities. **Sustainability**, v. 10, n. 7, p. 2139, 2018.
- ROSA, R. Geotecnologias na Geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 16, p. 81–90, 2005.
- ROUSE, J. . et al. **Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS**. . Estados Unidos: Earth Resources Technology Satellite-1S Symposium,3, 1973.
- SANTAMOURIS, M. Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island - A review of the actual developments. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 26, p. 224–240, 2013.
- SANTOS, C. A. .; LIMA, J. R. . Análise dos Efeitos da Expansão Urbana de Manaus-AM Sobre Parâmetros Ambientais Através de Imagens de Satélite. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 1, p. 001–014, jul. 2016.
- SANTOS, A. R. dos et al. Spatial and temporal distribution of urban heat islands. **Science of The Total Environment**, v. 605–606, p. 946–956, dez. 2017.
- SANTOS, S. R. Q. dos et al. Regime térmico e hídrico do solo para área de floresta tropical em anos de El Niño e La Niña, Caxiuanã-PA: estudo de caso. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 3, p. 367–374, 2011.
- SANTOS, J. S. et al. Campo Térmico Urbano e a sua Relação com o Uso e Cobertura do Solo em Cidade Tropical Úmida. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 3, p. 540–557, 2012.
- SARTORI, R. A. et al. Urban afforestation and favela: A study in A community of Rio de Janeiro, Brazil. **Urban Forestry and Urban Greening**, v. 40, p. 84–92, 2019.
- SBAU. Sociedade Brasileira de Arborização Urbana - SBAU. “**Carta a Londrina e Ibiporã**” **Boletim Informativo**, v. 3, p. 3, 1996.
- SCHOTT, J.; VOLCHOK, W. Calibração térmica infravermelha do Thematic Mapper. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 51, n. 9, p. 1351–1357, 1985.
- SHIRANI-BIDABADI, N. et al. Evaluating the spatial distribution and the intensity of urban heat island using remote sensing, case study of Isfahan city in Iran. **Sustainable Cities and Society**, v. 45, p. 686–692, 2019.
- SOUZA, C. A. de; SILVA, M. H. S. da. Análise da distribuição térmica da cidade de Campo Grande, Mato Grosso do Sul, no ano de 2015. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, 2017.

- SOUZA, D. M. De; NERY, J. T. O Conforto térmico na perspectiva da Climatologia Geográfica. **Geografia**, v. 21, n. 2, p. 65–83, 2012.
- STONE, B.; RODGERS, M. O. Urban form and thermal efficiency: How the design of cities influences the urban heat island effect. **Journal of the American Planning Association**, v. 67, n. 2, p. 186, 2001.
- THOM, E. The discomfort index. **Weatherwise**, v. 12, n. 2, p. 57–60, 1959.
- USGS. **Geological Survey - Serviço de Levantamento Geológico Americano**. Disponível em: <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con>. Acesso em: 5 maio 2019.
- VAN DE GRIEND, A. A.; OWE, M. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. **International Journal of Remote Sensing**, v. 14, n. 6, p. 1119–1131, 1993.
- VIANA, S. S. M.; AMORIM, M. C. de C. T. Conforto térmico nas escolas estaduais de presidente Prudente/SP. **Revista Formação (Online)**, v. 2, n. 20, p. 100–139, 2013.
- VIEIRA, M. G.; MACHADO, G. Geotecnologias e ilhas de calor urbanas: uma aplicação a Uberlândia – MG. **Geographia Opportuno Tempore**, v. 4, n. 2358–1972, p. 137–158, 2018.
- WERNECK, D. **Estratégias de mitigação das ilhas de calor urbanas: estudo de caso em áreas comerciais em Brasília - DF**. Dissertação (Mestre em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília, 2018.
- WONG, N. H.; YU, C. Study of green areas and urban heat island in a tropical city. **Habitat International**, v. 29, n. 3, p. 547–558, 2005.
- YANG, J.; WANG, Z.-H.; KALOUSH, K. E. Environmental impacts of reflective materials: Is high albedo a ‘silver bullet’ for mitigating urban heat island? **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 47, p. 830–843, jul. 2015.
- ZANIN, E.M, ROSSET, F, DALAVALE, C. Índice de áreas verdes públicas para o município de Getúlio Vargas, RS, 2007.
- ZHA, Y.; GAO, J.; NI, S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 24, n. 3, p. 583–594, 2003.
- ZHANG, J.; WANG, Y.; LI, Y. A C++ program for retrieving land surface temperature from the data of Landsat TM/ETM+ band6. **Computers & Geosciences**, v. 32, n. 10, p. 1796–1805, 2006.
- ZHANG, Y. Land surface temperature retrieval from CBERS-02 IRMSS thermal infrared data and its applications in quantitative analysis of urban heat island effect. **Journal of Remote Sensing**, v. 10, p. 789–797, 2006.
- ZHOU, W. et al. Relationships between land cover and the surface urban heat island: Seasonal variability and effects of spatial and thematic resolution of land cover data

on predicting land surface temperatures. **Landscape Ecology**, v. 29, n. 1, p. 153–167, 2014.

8 APÊNDICES

APÊNDICE A - Distribuição por bairro de temperaturas para os anos de 2015 e 2018 nas estações do verão e primavera

Tabela 17 - Temperaturas por bairros no ano de 2015 durante o verão e a primavera

BAIRRO	Estação do ano	<25 °C	25 - 28 °C	28 - 31 °C	31 - 34 °C	>34 °C
Água Santa	Verão				21.29	78.71
	Primavera					100.00
Abolição	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Acari	Verão				9.43	90.57
	Primavera					100.00
Alto da Boa Vista	Verão		0.43	48.86	44.81	5.90
	Primavera			0.51	68.76	30.74
Anchieta	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Andaraí	Verão				1.69	98.31
	Primavera					100.00
Anil	Verão				0.43	99.57
	Primavera				1.15	98.85
Bancários	Verão			0.27	3.88	95.85
	Primavera		0.22	0.48	6.08	93.22
Bangu	Verão			8.71	20.63	70.66
	Primavera			0.07	13.78	86.15
Barra da Tijuca	Verão		0.05	24.05	19.31	56.59
	Primavera	0.02	0.45	19.87	11.32	68.33
Barra de Guaratiba	Verão		0.09	2.99	58.98	37.93
	Primavera	0.11	0.84	1.25	56.83	40.97
Barros Filho	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Benfica	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Bento Ribeiro	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Bonsucesso	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Botafogo	Verão				4.93	95.07
	Primavera			0.05	18.06	81.89
Braz de Pina	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Cachambi	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Cacuaia	Verão		0.06	1.85	46.07	52.02
	Primavera		0.11	1.93	16.47	81.49
Caju	Verão			0.22	2.69	97.09

	Primavera	0.03	0.31	4.91	94.74
Camorim	Verão		21.16	49.26	29.58
	Primavera		0.29	21.47	78.23
Campinho	Verão			0.64	99.36
	Primavera				100.00
Campo dos Afonsos	Verão			0.07	99.93
	Primavera				100.00
Campo Grande	Verão	0.67	6.03	19.33	73.97
	Primavera		1.02	10.68	88.30
Cascadura	Verão			0.49	99.51
	Primavera				100.00
Catete	Verão				100.00
	Primavera			0.27	99.73
Catumbi	Verão				100.00
	Primavera				100.00
Cavalcanti	Verão				100.00
	Primavera				100.00
Centro	Verão	0.08	1.33	12.27	86.33
	Primavera	0.12	2.49	23.12	74.27
Cidade de Deus	Verão				100.00
	Primavera				100.00
Cidade Nova	Verão				100.00
	Primavera				100.00
Cidade Universitária	Verão		0.17	7.10	92.73
	Primavera		0.45	4.67	94.88
Cocotá	Verão		0.38	5.82	93.80
	Primavera		0.89	6.06	93.05
Coelho Neto	Verão				100.00
	Primavera				100.00
Colégio	Verão				100.00
	Primavera				100.00
Complexo do Alemão	Verão				100.00
	Primavera				100.00
Copacabana	Verão		0.40	37.23	62.37
	Primavera	0.22	1.12	49.48	49.17
Cordovil	Verão			0.15	99.85
	Primavera			1.57	98.43
Cosme Velho	Verão			15.25	84.75
	Primavera			1.61	98.39
Cosmos	Verão			0.23	99.77
	Primavera				100.00
Costa Barros	Verão				100.00
	Primavera				100.00
Curicica	Verão				100.00
	Primavera				100.00
Del Castilho	Verão				100.00
	Primavera				100.00
Deodoro	Verão			2.98	97.02
	Primavera				100.00

Encantado	Verão				100.00
	Primavera				100.00
Engenheiro Leal	Verão		0.17		99.83
	Primavera				
Engenho da Rainha	Verão				100.00
	Primavera				100.00
Engenho de Dentro	Verão		0.33		99.67
	Primavera				100.00
Engenho Novo	Verão				100.00
	Primavera				100.00
Estácio	Verão				100.00
	Primavera		0.46		99.54
Flamengo	Verão		0.22	13.77	86.01
	Primavera		2.87	35.67	61.46
Freguesia (Ilha)	Verão	0.16	0.95	31.98	66.92
	Primavera	0.35	1.35	21.35	76.95
Freguesia (Jacarepaguá)	Verão			16.42	83.58
	Primavera				100.00
Gávea	Verão		7.85	47.13	45.02
	Primavera			13.39	86.61
Galeão	Verão		0.05	1.38	98.58
	Primavera		0.12	2.14	97.74
Gamboa	Verão			1.59	98.41
	Primavera			5.36	94.64
Gardênia Azul	Verão				100.00
	Primavera				100.00
Gericinó	Verão			11.81	88.19
	Primavera			2.90	97.10
Glória	Verão		0.59	4.61	94.80
	Primavera	0.05	1.84	12.35	85.75
Grajaú	Verão		16.24	26.55	57.20
	Primavera			12.12	87.88
Grumari	Verão	0.13	4.75	82.45	12.67
	Primavera	0.02	0.80	1.83	56.18
Guadalupe	Verão				100.00
	Primavera				100.00
Guaratiba	Verão		2.23	20.03	77.74
	Primavera	0.07	0.74	15.24	83.95
Higienópolis	Verão				100.00
	Primavera				100.00
Honório Gurgel	Verão				100.00
	Primavera				100.00
Humaitá	Verão			8.89	91.11
	Primavera			7.28	92.72
Imperial de São Cristovão	Verão				100.00
	Primavera				100.00
Inhaúma	Verão				100.00
	Primavera				100.00
Inhoaíba	Verão				100.00

	Primavera					100.00
Ipanema	Verão		2.30	10.45	56.78	30.47
	Primavera	0.54	3.90	8.44	64.26	22.86
Irajá	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Itanhangá	Verão			4.13	45.25	50.61
	Primavera			0.71	12.83	86.46
Jacaré	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Jacarepaguá	Verão		0.61	17.55	34.75	47.09
	Primavera			0.80	14.13	85.07
Jacarezinho	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Jardim América	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Jardim Botânico	Verão				26.28	73.72
	Primavera				21.18	78.82
Jardim Carioca	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Jardim Guanabara	Verão			0.08	1.55	98.36
	Primavera			0.26	2.60	97.15
Jardim Sulacap	Verão				6.35	93.65
	Primavera				0.12	99.88
Joá	Verão		0.41	25.80	52.71	21.08
	Primavera	0.12	3.75	7.70	41.82	46.61
Lagoa	Verão			40.55	16.83	42.62
	Primavera		0.20	42.86	19.27	37.67
Lapa	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Laranjeiras	Verão				1.01	98.99
	Primavera				2.23	97.77
Leblon	Verão			0.11	51.93	47.97
	Primavera			0.79	48.51	50.70
Leme	Verão		1.73	3.60	30.68	63.99
	Primavera	0.81	4.03	7.59	35.73	51.84
Lins de Vasconcelos	Verão				1.13	98.87
	Primavera					100.00
Méier	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Madureira	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Magalhães Bastos	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Mangureira	Verão					100.00
	Primavera				0.08	99.92
Manguinhos	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Maré	Verão					100.00
	Primavera				0.88	99.12

Maracanã	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Marechal Hermes	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Maria da Graça	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Moneró	Verão			1.97		98.03
	Primavera			6.60		93.40
Olaria	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Oswaldo Cruz	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Paciência	Verão		0.02	0.14	3.10	96.75
	Primavera	0.03	0.28	0.44	1.39	97.87
Padre Miguel	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Paquetá	Verão		0.40	11.55	42.91	45.14
	Primavera		0.83	8.18	30.13	60.87
Parada de Lucas	Verão				1.33	98.67
	Primavera					100.00
Parque Anchieta	Verão				6.64	93.36
	Primavera					100.00
Parque Colúmbia	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Pavuna	Verão			0.06	0.38	99.56
	Primavera					100.00
Pechincha	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Pedra de Guaratiba	Verão			0.07	0.93	99.00
	Primavera		0.01	0.16	2.42	97.41
Penha	Verão					100.00
	Primavera				0.08	99.92
Penha Circular	Verão					100.00
	Primavera				0.77	99.23
Piedade	Verão				7.99	92.01
	Primavera					100.00
Pilares	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Pitangueiras	Verão				9.10	90.90
	Primavera			0.09	14.84	85.06
Portuguesa	Verão				1.12	98.88
	Primavera				6.86	93.14
Praça da Bandeira	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Praça Seca	Verão				2.02	97.98
	Primavera				0.33	99.67
Praia da Bandeira	Verão				4.12	95.88
	Primavera			0.11	3.56	96.33
Quintino Bocaiúva	Verão				14.31	85.69

	Primavera			0.06	99.94
Ramos	Verão				100.00
	Primavera				100.00
Realengo	Verão		1.68	8.30	90.03
	Primavera			1.74	98.20
Recreio dos Bandeirantes	Verão		1.28	25.10	73.62
	Primavera	0.08	0.82	13.89	85.21
Riachuelo	Verão				100.00
	Primavera				100.00
Ribeira	Verão	0.12	2.32	26.50	71.06
	Primavera	0.36	5.30	34.70	59.63
Ricardo de Albuquerque	Verão				100.00
	Primavera				100.00
Rio Comprido	Verão			9.50	90.50
	Primavera			4.64	95.36
Rocha	Verão				100.00
	Primavera				100.00
Rocha Miranda	Verão				100.00
	Primavera				100.00
Rocinha	Verão		21.32	68.67	10.01
	Primavera			49.21	50.79
São Conrado	Verão	0.08	42.77	35.04	22.11
	Primavera	0.02	0.76	2.45	45.07
São Francisco Xavier	Verão				100.00
	Primavera				100.00
Saúde	Verão			1.56	98.44
	Primavera			8.88	91.12
Sampaio	Verão				100.00
	Primavera				100.00
Santa Cruz	Verão	0.07	2.39	13.31	84.23
	Primavera	0.07	0.89	3.67	95.37
Santa Teresa	Verão		1.45	32.11	66.44
	Primavera		0.05	13.52	86.43
Santíssimo	Verão			3.34	96.66
	Primavera				100.00
Santo Cristo	Verão			1.03	98.97
	Primavera			2.48	97.52
Senador Camará	Verão	1.72	15.38	16.86	66.03
	Primavera		5.32	12.24	82.44
Senador Vasconcelos	Verão			21.95	78.05
	Primavera			0.18	99.82
Sepetiba	Verão		0.26	3.87	95.86
	Primavera	0.03	0.37	2.95	96.65
Tanque	Verão			3.16	96.84
	Primavera			0.69	99.31
Taquara	Verão			1.94	98.06
	Primavera				100.00
Tauá	Verão			1.31	98.69
	Primavera		0.07	2.24	97.69

Tijuca	Verão			0.05	24.64	75.31
	Primavera				2.20	97.80
Todos os Santos	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Tomás Coelho	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Turiaçu	Verão					100.00
	Primavera				0.24	99.76
Urca	Verão	0.01	0.55	6.55	37.91	54.99
	Primavera	0.04	1.09	10.16	41.10	47.60
Vargem Grande	Verão		1.06	26.74	37.10	35.10
	Primavera			2.95	39.69	57.36
Vargem Pequena	Verão			2.01	40.71	57.28
	Primavera			0.01	18.68	81.31
Vasco da Gama	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Vaz Lobo	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Vicente de Carvalho	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Vidigal	Verão			20.59	43.70	35.72
	Primavera				39.62	53.64
Vigário Geral	Verão				0.76	99.24
	Primavera				1.04	98.96
Vila da Penha	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Vila Isabel	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Vila Kennedy	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Vila Kosmos	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Vila Militar	Verão				4.03	95.97
	Primavera					100.00
Vila Valqueire	Verão				3.74	96.26
	Primavera					100.00
Vista Alegre	Verão					100.00
	Primavera					100.00
Zumbi	Verão				12.78	87.22
	Primavera				28.89	71.11

Tabela 18 - Temperaturas por bairros no ano de 2018 nas estações do verão e primavera

BAIRRO	Estação do ano	<25 °C	25 - 28 °C	28 - 31 °C	31 - 34 °C	>34 °C
Água Santa	Verão			21.60	33.50	44.90
	Primavera			15.53	51.60	32.87

Abolição	Verão					100.00
	Primavera				87.98	12.02
Acari	Verão			1.56	16.02	82.42
	Primavera			11.43	72.77	15.80
Alto da Boa Vista	Verão		54.46	41.13	3.44	0.98
	Primavera	0.04	65.87	31.26	2.48	0.35
Anchieta	Verão				1.67	98.33
	Primavera			0.05	74.39	25.56
Andaraí	Verão			12.09	35.63	52.28
	Primavera			10.55	64.43	25.03
Anil	Verão			1.53	19.84	78.63
	Primavera		0.11	5.00	51.38	43.51
Bancários	Verão		0.25	3.66	46.11	49.98
	Primavera		0.78	15.66	65.36	18.21
Bangu	Verão		2.28	21.75	19.15	56.81
	Primavera		14.58	17.66	47.44	20.32
Barra da Tijuca	Verão	0.09	19.58	23.42	25.75	31.16
	Primavera	0.28	26.67	26.33	31.59	15.12
Barra de Guaratiba	Verão	0.12	19.98	57.95	16.78	5.18
	Primavera	0.83	24.11	59.40	13.89	1.76
Barros Filho	Verão				2.11	97.89
	Primavera			0.04	63.90	36.06
Benfica	Verão				11.66	88.34
	Primavera			0.27	77.45	22.28
Bento Ribeiro	Verão					100.00
	Primavera				92.60	7.40
Bonsucesso	Verão				6.62	93.38
	Primavera			0.36	82.45	17.19
Botafogo	Verão		0.19	27.21	52.46	20.15
	Primavera		0.00	43.50	44.44	12.05
Braz de Pina	Verão				5.22	94.78
	Primavera			0.35	87.14	12.51
Cachambi	Verão				0.86	99.14
	Primavera				75.08	24.92
Cacuaia	Verão		0.50	39.94	38.36	21.19
	Primavera		1.80	56.79	33.64	7.76
Caju	Verão		0.12	3.14	32.19	64.55
	Primavera		0.18	7.91	71.51	20.40
Camorim	Verão		13.75	58.24	13.73	14.28
	Primavera		27.43	46.71	18.80	7.06
Campinho	Verão			0.41	6.82	92.77
	Primavera			0.49	75.53	23.98
Campo dos Afonsos	Verão				4.77	95.23
	Primavera				11.10	88.90
Campo Grande	Verão		4.43	14.81	19.91	60.85
	Primavera		4.80	25.70	45.11	24.39
Cascadura	Verão				11.14	88.86
	Primavera			0.07	69.41	30.53
Catete	Verão			5.82	65.60	28.58

	Primavera			20.90	62.45	16.65
Catumbi	Verão				47.52	52.48
	Primavera			4.44	77.42	18.14
Cavalcanti	Verão				18.38	81.62
	Primavera			2.25	67.51	30.24
Centro	Verão		0.78	5.44	46.97	46.81
	Primavera	0.06	1.53	23.42	58.58	16.41
Cidade de Deus	Verão				0.72	99.28
	Primavera			0.04	88.78	11.18
Cidade Nova	Verão				20.92	79.08
	Primavera				87.16	12.84
Cidade Universitária	Verão		0.24	10.44	33.93	55.38
	Primavera		0.36	14.93	40.95	43.77
Cocotá	Verão		0.22	3.02	48.44	48.32
	Primavera		1.24	12.65	51.96	34.15
Coelho Neto	Verão				2.63	97.37
	Primavera			0.57	72.22	27.21
Colégio	Verão				1.29	98.71
	Primavera			0.38	77.33	22.29
Complexo do Alemão	Verão				50.14	49.86
	Primavera			9.80	68.58	21.62
Copacabana	Verão		0.37	44.65	39.20	15.78
	Primavera	0.16	1.25	69.48	23.25	5.86
Cordovil	Verão			1.27	8.63	90.10
	Primavera			4.67	82.16	13.18
Cosme Velho	Verão			33.68	50.48	15.84
	Primavera			37.09	53.37	9.54
Cosmos	Verão			1.71	14.48	83.81
	Primavera			3.70	49.21	47.09
Costa Barros	Verão				3.01	96.99
	Primavera			0.32	67.86	31.82
Curicica	Verão				9.34	90.66
	Primavera			2.21	71.91	25.89
Del Castilho	Verão				1.90	98.10
	Primavera			0.16	61.37	38.46
Deodoro	Verão			0.20	38.55	61.26
	Primavera			15.00	51.72	33.28
Encantado	Verão				0.06	99.94
	Primavera				82.38	17.62
Engenheiro Leal	Verão				29.64	70.36
	Primavera			4.67	77.75	17.57
Engenho da Rainha	Verão				16.75	83.25
	Primavera			3.42	65.56	31.02
Engenho de Dentro	Verão			1.57	15.10	83.32
	Primavera			2.48	68.91	28.61
Engenho Novo	Verão			0.26	26.72	73.02
	Primavera			0.46	82.54	17.00
Estácio	Verão				46.17	53.83
	Primavera			10.21	66.29	23.49

Flamengo	Verão		0.20	24.99	50.10	24.71
	Primavera		0.85	46.05	28.27	24.83
Freguesia (Ilha)	Verão	0.04	0.71	39.89	34.46	24.90
	Primavera	0.16	1.83	50.65	34.00	13.35
Freguesia (Jacarepaguá)	Verão			21.66	23.51	54.83
	Primavera			23.25	47.11	29.64
Gávea	Verão		17.53	44.63	29.97	7.87
	Primavera		15.39	52.37	26.53	5.70
Galeão	Verão		0.01	7.01	25.34	67.64
	Primavera		0.13	16.06	38.17	45.64
Gamboa	Verão			0.25	46.73	53.02
	Primavera			6.65	78.29	15.06
Gardênia Azul	Verão				2.10	97.90
	Primavera			1.51	73.52	24.97
Gericinó	Verão			6.48	13.26	80.25
	Primavera		0.13	20.37	54.82	24.69
Glória	Verão		0.03	2.97	41.91	55.09
	Primavera		0.40	13.87	38.47	47.26
Grajaú	Verão		15.49	34.41	25.79	24.31
	Primavera		18.02	30.99	34.86	16.13
Grumari	Verão		68.64	29.15	2.14	
	Primavera	1.28	86.81	11.42	0.49	
Guadalupe	Verão				3.87	96.13
	Primavera			0.44	70.44	29.12
Guaratiba	Verão		1.73	24.87	35.77	37.63
	Primavera	0.01	3.22	46.26	38.84	11.67
Higienópolis	Verão				0.42	99.58
	Primavera				81.56	18.44
Honório Gurgel	Verão					100.00
	Primavera				81.85	18.15
Humaitá	Verão		2.01	41.62	39.08	17.30
	Primavera		0.72	57.20	30.54	11.55
Imperial de São Cristovão	Verão				22.72	77.28
	Primavera			2.08	68.04	29.88
Inhaúma	Verão				3.96	96.04
	Primavera			0.60	67.20	32.21
Inhoaíba	Verão			1.42	12.90	85.68
	Primavera			1.64	54.39	43.97
Ipanema	Verão	3.67	16.32	40.01	24.11	15.89
	Primavera	4.16	17.74	53.69	22.68	1.73
Irajá	Verão				1.26	98.74
	Primavera			0.15	77.97	21.88
Itanhangá	Verão		8.58	53.02	29.18	9.22
	Primavera		20.16	57.89	20.04	1.91
Jacaré	Verão				0.33	99.67
	Primavera				66.34	33.66
Jacarepaguá	Verão		11.51	43.93	22.82	21.75
	Primavera		16.95	46.06	27.08	9.90
Jacarezinho	Verão				39.99	60.01

	Primavera				77.26	22.74
Jardim América	Verão		0.02		1.66	98.32
	Primavera		0.69		88.96	10.35
Jardim Botânico	Verão	0.55	46.83		32.83	19.78
	Primavera	0.08	52.54		31.97	15.41
Jardim Carioca	Verão				43.56	56.44
	Primavera			6.59	67.81	25.59
Jardim Guanabara	Verão	0.03	1.52		34.63	63.82
	Primavera	0.48	9.86		58.65	31.02
Jardim Sulacap	Verão			12.49	44.72	42.79
	Primavera			9.05	51.97	38.98
Joá	Verão	0.21	31.35	51.91	15.64	0.90
	Primavera	2.74	45.29	47.04	4.82	0.10
Lagoa	Verão		38.00	24.72	20.40	16.88
	Primavera		43.32	27.20	22.14	7.35
Lapa	Verão				84.38	15.62
	Primavera			7.02	84.68	8.30
Laranjeiras	Verão			21.57	50.44	28.00
	Primavera			33.77	48.13	18.09
Leblon	Verão	2.57	36.56		36.76	24.11
	Primavera		2.30	50.08	36.29	11.32
Leme	Verão	0.89	6.44	52.00	28.98	11.68
	Primavera	3.92	6.24	59.65	25.46	4.73
Lins de Vasconcelos	Verão			2.64	33.77	63.60
	Primavera			2.28	54.91	42.81
Méier	Verão				3.26	96.74
	Primavera			0.64	86.66	12.70
Madureira	Verão				6.97	93.03
	Primavera			0.59	82.20	17.21
Magalhães Bastos	Verão				0.08	99.92
	Primavera				73.42	26.58
Mangureira	Verão				53.90	46.10
	Primavera			24.30	62.13	13.57
Manguinhos	Verão				34.41	65.59
	Primavera			5.42	66.12	28.46
Maré	Verão			0.26	51.23	48.51
	Primavera			6.23	77.65	16.12
Maracanã	Verão				43.14	56.86
	Primavera			0.47	83.62	15.90
Marechal Hermes	Verão					100.00
	Primavera				72.40	27.60
Maria da Graça	Verão				0.92	99.08
	Primavera				73.78	26.22
Moneró	Verão			0.84	57.47	41.69
	Primavera			11.20	69.29	19.52
Olaria	Verão				12.83	87.17
	Primavera			0.34	87.27	12.39
Oswaldo Cruz	Verão					100.00
	Primavera				93.31	6.69

Paciência	Verão			1.41	16.68	81.92
	Primavera			7.67	45.05	47.27
Padre Miguel	Verão				2.78	97.22
	Primavera				55.14	44.86
Paquetá	Verão		3.26	37.85	32.63	26.25
	Primavera	0.17	9.08	46.52	31.70	12.52
Parada de Lucas	Verão			3.42	19.91	76.67
	Primavera		0.02	12.36	71.88	15.74
Parque Anchieta	Verão			3.74	29.47	66.80
	Primavera			12.49	73.94	13.57
Parque Colúmbia	Verão		0.32	2.77	8.60	88.31
	Primavera	0.48	2.38	4.83	55.26	37.04
Pavuna	Verão				2.36	97.64
	Primavera			0.47	69.99	29.54
Pechincha	Verão				11.55	88.45
	Primavera			0.77	52.76	46.47
Pedra de Guaratiba	Verão			0.05	11.46	88.50
	Primavera		0.27	5.47	50.98	43.28
Penha	Verão			0.01	13.29	86.70
	Primavera			1.24	71.31	27.44
Penha Circular	Verão			0.52	9.58	89.90
	Primavera			1.86	73.28	24.86
Piedade	Verão			7.22	9.68	83.10
	Primavera			7.88	70.34	21.78
Pilares	Verão				0.45	99.55
	Primavera				78.41	21.59
Pitangueiras	Verão			2.94	60.44	36.63
	Primavera		0.09	39.40	37.39	23.11
Portuguesa	Verão			0.73	26.01	73.26
	Primavera		0.04	8.86	63.68	27.42
Praça da Bandeira	Verão				15.77	84.23
	Primavera				80.95	19.05
Praça Seca	Verão			2.95	29.76	67.29
	Primavera			4.01	62.77	33.22
Praia da Bandeira	Verão		0.11	2.53	33.76	63.60
	Primavera			14.35	39.95	45.70
Quintino Bocaiúva	Verão			12.56	26.75	60.68
	Primavera			10.66	55.96	33.38
Ramos	Verão				17.17	82.83
	Primavera			0.05	89.39	10.56
Realengo	Verão		0.66	7.48	21.70	70.16
	Primavera		1.78	9.88	54.56	33.78
Recreio dos Bandeirantes	Verão		4.25	37.23	37.55	20.97
	Primavera	0.13	9.67	54.08	28.80	7.33
Riachuelo	Verão				27.47	72.53
	Primavera				74.86	25.14
Ribeira	Verão	0.01	1.08	16.04	60.01	22.86
	Primavera	0.04	2.81	42.38	43.36	11.40
Ricardo de Albuquerque	Verão				0.49	99.51

	Primavera		0.33	75.92	23.75
Rio Comprido	Verão		30.91	40.77	28.31
	Primavera	0.00	37.38	48.67	13.94
Rocha	Verão			18.08	81.92
	Primavera			68.10	31.90
Rocha Miranda	Verão			0.85	99.15
	Primavera			88.56	11.44
Rocinha	Verão	11.42	70.62	14.05	3.92
	Primavera	12.67	75.25	11.42	0.66
São Conrado	Verão	0.14	36.38	44.97	14.95
	Primavera	0.60	47.52	38.67	11.43
São Francisco Xavier	Verão			19.30	80.70
	Primavera			66.41	33.59
Saúde	Verão		0.19	66.37	33.43
	Primavera		18.28	70.46	11.26
Sampaio	Verão			22.54	77.46
	Primavera		0.06	64.77	35.17
Santa Cruz	Verão	0.17	8.56	28.37	62.90
	Primavera	0.06	1.73	25.70	52.89
Santa Teresa	Verão	11.99	34.40	31.15	22.46
	Primavera	12.62	41.69	31.38	14.31
Santíssimo	Verão		0.14	8.54	91.32
	Primavera		3.69	62.99	33.33
Santo Cristo	Verão		0.80	25.35	73.85
	Primavera		1.70	76.13	22.18
Senador Camará	Verão	15.45	14.42	18.69	51.44
	Primavera	12.71	22.49	47.25	17.55
Senador Vasconcelos	Verão		0.83	32.02	67.15
	Primavera		12.17	64.10	23.73
Sepetiba	Verão	0.04	1.82	12.09	86.05
	Primavera	0.73	13.07	54.40	31.80
Tanque	Verão		5.50	29.24	65.25
	Primavera		6.45	61.95	31.60
Taquara	Verão		5.03	14.17	80.80
	Primavera		7.62	58.98	33.40
Tauá	Verão		0.56	47.85	51.59
	Primavera	0.19	7.77	69.47	22.57
Tijuca	Verão	1.46	31.11	39.83	27.60
	Primavera	2.32	33.11	46.85	17.72
Todos os Santos	Verão			0.25	99.75
	Primavera			90.94	9.06
Tomás Coelho	Verão			12.38	87.62
	Primavera		1.05	65.93	33.02
Turiaçu	Verão			5.01	94.99
	Primavera		1.06	77.07	21.87
Urca	Verão	0.02	6.78	51.34	24.62
	Primavera	0.84	9.24	52.01	27.34
Vargem Grande	Verão		25.92	46.95	18.84
	Primavera		51.59	34.38	12.64

Vargem Pequena	Verão		5.02	46.00	31.35	17.63
	Primavera		26.87	44.74	22.81	5.59
Vasco da Gama	Verão			0.58	39.83	59.59
	Primavera			3.56	76.30	20.14
Vaz Lobo	Verão				4.03	95.97
	Primavera				71.32	28.68
Vicente de Carvalho	Verão				16.10	83.90
	Primavera			0.33	72.86	26.81
Vidigal	Verão		18.26	40.94	30.69	10.11
	Primavera	1.28	27.87	53.89	14.98	1.99
Vigário Geral	Verão			0.59	6.73	92.68
	Primavera			4.40	77.58	18.02
Vila da Penha	Verão					100.00
	Primavera				97.65	2.35
Vila Isabel	Verão				41.29	58.71
	Primavera			3.91	79.57	16.52
Vila Kennedy	Verão					100.00
	Primavera			0.36	83.04	16.59
Vila Kosmos	Verão				29.66	70.34
	Primavera			1.55	63.35	35.10
Vila Militar	Verão			0.79	20.86	78.35
	Primavera			5.67	44.62	49.71
Vila Valqueire	Verão			4.38	20.60	75.02
	Primavera			0.51	69.39	30.11
Vista Alegre	Verão					100.00
	Primavera				88.67	11.33
Zumbi	Verão			2.58	59.93	37.50
	Primavera			31.80	51.60	16.60

APÊNDICE B - Distribuição por bairro do índice UTFVI para os anos de 2015 e 2018 nas estações do verão e primavera

Tabela 19 - Distribuição por bairros do índice UTFVI para o ano de 2015 no verão e primavera

BAIRRO	Estação do ano	Nulo	Fraco	Médio	Forte	Fortíssimo	Muito Forte
Água Santa	Verão			2.16	10.16	14.50	52.92
	Primavera					0.07	99.93
Abolição	Verão						100.00
	Primavera						100.00
Acari	Verão				3.78	11.32	84.90
	Primavera						100.00
Alto da Boa Vista	Verão	3.69	32.31	35.08	20.32	5.41	3.18
	Primavera	0.01	0.23	5.68	47.67	35.64	10.76
Anchieta	Verão						100.00

	Primavera						100.00
Andaraí	Verão		0.02	0.28		8.37	91.33
	Primavera					0.06	99.94
Anil	Verão			0.37		2.77	96.86
	Primavera		0.02	0.87		0.61	98.50
Bancários	Verão	0.15		0.37	1.94	8.99	88.55
	Primavera	0.22	0.04	1.46	3.40	11.60	83.28
Bangu	Verão	0.97	5.42	9.87	9.68	11.14	62.92
	Primavera			3.03	7.21	10.22	79.53
Barra da Tijuca	Verão	9.01	12.47	7.77	10.07	12.20	48.48
	Primavera	4.27	12.99	6.85	4.73	11.00	60.16
Barra de Guaratiba	Verão	0.29	0.87	13.52	35.76	27.33	22.24
	Primavera	1.45	0.56	6.73	34.29	34.29	22.66
Barros Filho	Verão					0.16	99.84
	Primavera					0.04	99.96
Benfica	Verão					0.56	99.44
	Primavera						100.00
Bento Ribeiro	Verão						100.00
	Primavera						100.00
Bonsucesso	Verão						100.00
	Primavera					0.15	99.85
Botafogo	Verão			0.09	1.80	22.89	75.23
	Primavera		0.00	1.05	9.55	29.77	59.64
Braz de Pina	Verão						100.00
	Primavera						100.00
Cachambi	Verão						100.00
	Primavera						100.00
Cacuaia	Verão	0.37	0.55	6.23	34.69	16.11	42.05
	Primavera	0.50	0.94	2.08	10.36	31.00	55.12
Caju	Verão	0.05	0.14	0.08	1.74	4.18	93.81
	Primavera	0.18	0.10	0.33	2.91	8.89	87.58
Camorim	Verão	0.19	15.70	22.88	27.31	13.54	20.38
	Primavera	0.16	0.09	0.64	12.09	32.25	54.77
Campinho	Verão				0.10	4.16	95.74
	Primavera					0.35	99.65
Campo dos Afonsos	Verão					1.98	98.02
	Primavera					0.24	99.76
Campo Grande	Verão	1.56	3.54	6.16	10.81	11.72	66.22
	Primavera	0.03	0.60	2.22	5.99	9.68	81.49
Cascadura	Verão				0.07	1.69	98.24
	Primavera						100.00
Catete	Verão					4.29	95.71
	Primavera					15.21	84.79
Catumbi	Verão						100.00
	Primavera					0.64	99.36
Cavalcanti	Verão					1.11	98.89
	Primavera					1.12	98.88
Centro	Verão	0.19	0.74	1.23	6.38	19.19	72.27
	Primavera	0.61	1.44	2.14	12.14	26.59	57.08

Cidade de Deus	Verão						100.00
	Primavera						100.00
Cidade Nova	Verão						100.00
	Primavera					1.34	98.66
Cidade Universitária	Verão	0.12	0.64	4.11		6.86	88.27
	Primavera	0.26	0.66	2.62		9.82	86.65
Cocotá	Verão	0.22	0.99	3.91		10.66	84.22
	Primavera	0.71	0.77	4.54		10.94	83.04
Coelho Neto	Verão					0.67	99.33
	Primavera					0.23	99.77
Colégio	Verão					1.11	98.89
	Primavera						100.00
Complexo do Alemão	Verão					0.97	99.03
	Primavera					3.35	96.65
Copacabana	Verão	0.05	0.26	0.46	21.19	35.17	42.87
	Primavera	0.42	0.79	1.80	30.43	35.35	31.22
Cordovil	Verão				0.02	2.76	97.22
	Primavera			0.02	0.92	5.03	94.03
Cosme Velho	Verão			1.07	7.31	27.81	63.81
	Primavera				0.43	17.68	81.89
Cosmos	Verão				0.02	0.77	99.21
	Primavera					0.11	99.89
Costa Barros	Verão						100.00
	Primavera						100.00
Curicica	Verão						100.00
	Primavera						100.00
Del Castilho	Verão						100.00
	Primavera					0.04	99.96
Deodoro	Verão				0.21	15.42	84.38
	Primavera					0.03	99.97
Encantado	Verão						100.00
	Primavera						100.00
Engenheiro Leal	Verão					6.65	93.35
	Primavera					3.26	96.74
Engenho da Rainha	Verão					0.05	99.95
	Primavera					1.53	98.47
Engenho de Dentro	Verão				0.02	3.85	96.14
	Primavera					0.11	99.89
Engenho Novo	Verão					1.89	98.11
	Primavera					0.07	99.93
Estácio	Verão					6.40	93.60
	Primavera				0.05	12.99	86.95
Flamengo	Verão	0.10	2.26	6.99		25.17	65.49
	Primavera	0.02	1.75	6.04	23.83	24.56	43.80
Freguesia (Ilha)	Verão	0.48	0.27	4.56	19.95	20.08	54.66
	Primavera	0.86	0.64	1.94	9.86	35.05	51.64
Freguesia (Jacarepaguá)	Verão			2.91	9.51	14.74	72.84
	Primavera				0.02	2.50	97.48
Gávea	Verão	1.96	18.45	26.68		24.29	28.62

	Primavera					3.89	45.98	50.14
Galeão	Verão	0.01	0.02	0.05	0.58		4.86	94.47
	Primavera	0.00	0.07	0.20	0.77		7.55	91.41
Gamboa	Verão					0.49	5.79	93.72
	Primavera			0.07	2.69		28.17	69.07
Gardêniaa Azul	Verão							100.00
	Primavera							100.00
Gericinó	Verão			1.44	7.47		14.61	76.48
	Primavera			0.20	1.82		4.37	93.61
Glória	Verão		0.38	0.82	2.52		6.11	90.17
	Primavera	0.42	0.82	3.07	6.25		27.18	62.25
Grajaú	Verão	0.54	9.34	16.42	13.02		9.73	50.95
	Primavera			0.20	7.60		13.50	78.70
Grumari	Verão	0.31	1.83	17.82	57.41		15.75	6.88
	Primavera	1.75	0.84	0.60	33.47		53.61	9.74
Guadalupe	Verão						0.13	99.87
	Primavera							100.00
Guaratiba	Verão	0.04	0.96	4.91	11.54		14.22	68.32
	Primavera	0.19	0.41	1.19	7.99		21.62	68.60
Higienópolis	Verão							100.00
	Primavera							100.00
Honório Gurgel	Verão							100.00
	Primavera							100.00
Humaitá	Verão					3.88	26.11	70.01
	Primavera					5.76	17.30	76.94
Imperial de São Cristovão	Verão						0.69	99.31
	Primavera						1.47	98.53
Inhaúma	Verão						0.07	99.93
	Primavera						0.10	99.90
Inhoaíba	Verão					0.01	0.80	99.19
	Primavera						0.19	99.81
Ipanema	Verão	4.14	6.68	9.78	40.13		13.71	25.57
	Primavera	6.37	3.83	12.92	50.40		7.90	18.58
Irajá	Verão						0.04	99.96
	Primavera						0.02	99.98
Itanhangá	Verão	0.09	1.54	15.06	25.13		21.02	37.16
	Primavera		0.13	1.27	5.18		29.34	64.08
Jacaré	Verão							100.00
	Primavera							100.00
Jacarepaguá	Verão	2.84	9.68	16.88	18.37		14.47	37.76
	Primavera	0.01	0.29	2.50	8.19		14.65	74.35
Jacarezinho	Verão							100.00
	Primavera							100.00
Jardim América	Verão					0.08	0.49	99.43
	Primavera						0.36	99.64
Jardim Botânico	Verão			0.15	15.57		29.01	55.27
	Primavera			0.07	8.17		42.40	49.36
Jardim Carioca	Verão							100.00
	Primavera						3.04	96.96

Jardim Guanabara	Verão	0.06	0.11	0.77		3.82	95.25
	Primavera	0.09	0.39	1.32		11.73	86.46
Jardim Sulacap	Verão			2.57		17.90	79.53
	Primavera					0.50	99.50
Joá	Verão	2.27	13.03	32.29	22.96	19.41	10.03
	Primavera	5.63	3.84	7.22	27.70	28.61	26.99
Lagoa	Verão	13.82	24.39	6.75	8.59	11.83	34.62
	Primavera	31.18	9.25	8.63	9.90	9.72	31.33
Lapa	Verão					1.71	98.29
	Primavera					13.39	86.61
Laranjeiras	Verão				0.09	9.77	90.14
	Primavera				0.68	16.77	82.56
Leblon	Verão			13.15	32.94	15.92	37.99
	Primavera		0.21	5.53	36.18	17.88	40.21
Leme	Verão	3.42	1.54	3.58	17.38	35.09	39.00
	Primavera	6.01	3.38	8.53	21.81	30.11	30.16
Lins de Vasconcelos	Verão				0.27	8.29	91.44
	Primavera					0.33	99.67
Méier	Verão						100.00
	Primavera						100.00
Madureira	Verão					0.72	99.28
	Primavera					1.17	98.83
Magalhães Bastos	Verão						100.00
	Primavera						100.00
Mangueira	Verão					12.80	87.20
	Primavera					15.11	84.89
Manguinhos	Verão					2.09	97.91
	Primavera					1.95	98.05
Maré	Verão				0.07	1.05	98.89
	Primavera				0.23	3.62	96.15
Maracanã	Verão					0.61	99.39
	Primavera					0.27	99.73
Marechal Hermes	Verão					0.14	99.86
	Primavera						100.00
Maria da Graça	Verão						100.00
	Primavera						100.00
Moneró	Verão				1.44	4.31	94.25
	Primavera				3.74	9.72	86.54
Olaria	Verão						100.00
	Primavera						100.00
Oswaldo Cruz	Verão						100.00
	Primavera						100.00
Paciência	Verão	0.05	0.08	0.26	1.98	2.80	94.82
	Primavera	0.45	0.22	0.26	0.60	3.21	95.26
Padre Miguel	Verão					0.13	99.87
	Primavera						100.00
Paquetá	Verão	2.34	4.50	18.34	23.19	15.97	35.66
	Primavera	3.24	3.62	6.81	17.29	25.51	43.52
Parada de Lucas	Verão				0.69	2.42	96.88

	Primavera				0.04	0.61	99.35
Parque Anchieta	Verão				3.03	10.93	86.03
	Primavera						100.00
Parque Colúmbia	Verão					0.04	99.96
	Primavera						100.00
Pavuna	Verão	0.01	0.14	0.22		0.41	99.22
	Primavera		0.05	0.19		0.27	99.48
Pechincha	Verão					0.22	99.78
	Primavera					0.69	99.31
Pedra de Guaratiba	Verão	0.07	0.04	0.57		1.05	98.28
	Primavera	0.06	0.10	0.52	1.28	2.90	95.13
Penha	Verão				0.01	0.55	99.44
	Primavera				0.05	0.22	99.74
Penha Circular	Verão					0.86	99.14
	Primavera			0.42		1.27	98.31
Piedade	Verão		0.02	5.73		5.29	88.97
	Primavera					0.03	99.97
Pilares	Verão						100.00
	Primavera						100.00
Pitangueiras	Verão		0.20	3.70		40.82	55.29
	Primavera		0.59	5.37		52.33	41.71
Portuguesa	Verão		0.04	0.51		2.70	96.75
	Primavera		0.04	2.11		15.20	82.65
Praça da Bandeira	Verão						100.00
	Primavera						100.00
Praça Seca	Verão		0.01	1.09		6.53	92.37
	Primavera			0.10		1.07	98.83
Praia da Bandeira	Verão		0.32	1.74		13.18	84.76
	Primavera	0.11	0.21	2.45		12.71	84.52
Quintino Bocaiúva	Verão		2.39	9.07		9.88	78.66
	Primavera					3.99	96.01
Ramos	Verão						100.00
	Primavera						100.00
Realengo	Verão	0.73	3.44	3.83		7.03	84.97
	Primavera		0.35	1.03		2.01	96.61
Recreio dos Bandeirantes	Verão	0.03	0.74	3.38	16.08	19.38	60.39
	Primavera	0.19	0.46	1.91	6.83	20.86	69.74
Riachuelo	Verão						100.00
	Primavera						100.00
Ribeira	Verão	0.25	1.05	5.03	15.29	29.35	49.03
	Primavera	0.94	2.90	8.32	20.44	33.95	33.46
Ricardo de Albuquerque	Verão					0.05	99.95
	Primavera						100.00
Rio Comprido	Verão			5.21		19.09	75.70
	Primavera			2.68		10.20	87.12
Rocha	Verão						100.00
	Primavera						100.00
Rocha Miranda	Verão					0.06	99.94
	Primavera					0.01	99.99

Rocinha	Verão	0.38	10.39	36.13	38.82	8.30	5.99
	Primavera			1.45	35.38	31.06	32.11
São Conrado	Verão	0.47	29.24	28.13	15.90	10.90	15.37
	Primavera	1.13	1.38	3.51	25.78	43.46	24.73
São Francisco Xavier	Verão						100.00
	Primavera						100.00
Saúde	Verão				0.85	11.53	87.63
	Primavera			0.08	4.19	34.97	60.76
Sampaio	Verão					0.02	99.98
	Primavera						100.00
Santa Cruz	Verão	0.17	1.39	3.79	6.78	13.78	74.09
	Primavera	0.16	0.60	0.66	2.06	6.37	90.14
Santa Teresa	Verão		0.13	8.86	18.06	18.45	54.49
	Primavera		0.01	0.05	7.99	28.71	63.23
Santíssimo	Verão				1.50	10.22	88.27
	Primavera					0.22	99.78
Santo Cristo	Verão			0.46	2.08	97.46	
	Primavera				1.32	5.53	93.15
Senador Camará	Verão	6.65	8.41	7.57	7.96	8.93	60.49
	Primavera	0.03	2.61	8.22	5.50	5.46	78.19
Senador Vasconcelos	Verão			0.52	14.73	18.41	66.35
	Primavera				0.10	0.36	99.54
Sepetiba	Verão	0.05	0.16	0.97	1.97	3.65	93.20
	Primavera	0.10	0.20	0.30	1.67	6.85	90.88
Tanque	Verão			0.03	2.02	5.85	92.10
	Primavera				0.17	1.86	97.97
Taquara	Verão				0.39	8.89	90.72
	Primavera					0.54	99.46
Tauá	Verão			0.14	0.65	6.86	92.35
	Primavera			0.35	1.15	7.89	90.60
Tijuca	Verão			3.12	17.54	10.77	68.57
	Primavera				0.32	16.18	83.50
Todos os Santos	Verão						100.00
	Primavera						100.00
Tomás Coelho	Verão					0.19	99.81
	Primavera						100.00
Turiaçu	Verão					0.24	99.76
	Primavera					1.58	98.42
Urca	Verão	1.41	3.52	10.83	22.65	18.62	42.96
	Primavera	1.95	5.11	17.32	21.94	17.73	35.95
Vargem Grande	Verão	4.38	16.92	18.85	18.65	14.43	26.77
	Primavera	0.07	1.67	8.51	23.97	25.52	40.26
Vargem Pequena	Verão		0.41	14.49	21.94	17.74	45.42
	Primavera			0.19	6.05	34.33	59.43
Vasco da Gama	Verão						100.00
	Primavera						100.00
Vaz Lobo	Verão						100.00
	Primavera						100.00
Vicente de Carvalho	Verão					0.37	99.63

	Primavera						100.00
Vidigal	Verão	0.35	15.09	17.79	22.32	19.57	24.87
	Primavera	5.14	1.40	5.57	26.17	28.27	33.45
Vigário Geral	Verão				0.67	1.09	98.24
	Primavera				0.77	0.85	98.38
Vila da Penha	Verão						100.00
	Primavera						100.00
Vila Isabel	Verão					0.67	99.33
	Primavera					1.01	98.99
Vila Kennedy	Verão						100.00
	Primavera						100.00
Vila Kosmos	Verão					0.43	99.57
	Primavera						100.00
Vila Militar	Verão				1.33	9.30	89.36
	Primavera					0.07	99.93
Vila Valqueire	Verão				0.69	8.14	91.17
	Primavera						100.00
Vista Alegre	Verão						100.00
	Primavera						100.00
Zumbi	Verão				7.63	39.03	53.34
	Primavera				14.45	68.26	17.29

Tabela 20 - Distribuição por bairros do índice UTFVI para o ano de 2018 durante a estação verão e primavera

BAIRRO	Estação do ano	Nulo	Fraco	Médio	Forte	Fortíssimo	Muito Forte
Água Santa	Verão	0.57	12.71	24.61	13.57	17.61	30.92
	Primavera	0.20	10.01	19.21	30.19	15.77	24.63
Abolição	Verão					2.08	97.92
	Primavera			0.47	54.37	34.84	10.32
Acari	Verão			9.03	6.56	11.37	73.04
	Primavera		7.95	9.88	45.07	27.27	9.82
Alto da Boa Vista	Verão	85.62	8.57	3.07	1.49	0.63	0.62
	Primavera	87.93	8.13	2.49	0.91	0.41	0.13
Anchieta	Verão				0.27	16.11	83.62
	Primavera			7.64	63.77	5.81	22.78
Andaraí	Verão	0.03	8.82	9.54	16.40	37.06	28.15
	Primavera	0.22	4.71	21.23	44.97	12.01	16.86
Anil	Verão		0.34	5.44	10.57	25.13	58.52
	Primavera	0.18	2.89	12.05	35.52	15.01	34.34
Bancários	Verão	0.68	1.54	7.99	26.52	34.08	29.18
	Primavera	1.97	7.26	35.72	31.83	10.78	12.44
Bangu	Verão	8.98	12.67	7.01	10.73	10.73	49.88
	Primavera	20.32	8.04	13.29	25.21	21.36	11.78
Barra da Tijuca	Verão	27.24	10.71	13.21	13.03	14.46	21.35
	Primavera	33.96	14.49	15.63	15.98	12.06	7.88
Barra de Guaratiba	Verão	48.32	25.31	11.57	7.75	4.27	2.78
	Primavera	56.06	23.81	10.32	6.68	2.60	0.54

Barros Filho	Verão					1.02	8.55	90.43
	Primavera					2.95	49.44	28.33
Benfica	Verão					0.05	3.24	52.18
	Primavera					4.23	55.22	28.67
Bento Ribeiro	Verão						0.25	99.75
	Primavera					63.51	30.58	5.91
Bonsucesso	Verão					0.11	1.91	61.85
	Primavera					0.14	2.90	57.34
Botafogo	Verão	4.64	15.00	32.87	23.86		10.17	13.46
	Primavera	0.84	20.61	49.94	13.17		9.83	5.61
Braz de Pina	Verão						1.14	43.91
	Primavera					11.93	73.15	5.01
Cachambi	Verão							51.66
	Primavera					0.62	66.93	11.27
Cacuaia	Verão	1.70	33.17	18.67	18.85		15.64	11.97
	Primavera	10.62	39.30	23.38	17.08		4.39	5.24
Caju	Verão	0.44	1.56	4.56	16.17		45.94	31.31
	Primavera	0.98	4.07	15.61	47.83		18.84	12.66
Camorim	Verão	40.64	27.05	10.34	5.96		5.61	10.40
	Primavera	45.30	22.47	15.20	7.60		5.07	4.37
Campinho	Verão					3.40	3.25	8.73
	Primavera					0.05	2.10	58.40
Campo dos Afonsos	Verão					0.23	2.27	9.06
	Primavera					0.75	4.06	17.75
Campo Grande	Verão	8.20	7.79	10.26	9.42		10.95	53.38
	Primavera	10.62	14.26	17.52	25.70		15.40	16.50
Cascadura	Verão					1.60	7.09	14.82
	Primavera					2.36	54.77	21.49
Catete	Verão					4.44	15.24	44.87
	Primavera					8.95	53.36	17.44
Catumbi	Verão					2.48	28.25	42.02
	Primavera					0.11	30.22	48.64
Cavalcanti	Verão					0.41	10.56	28.48
	Primavera					0.86	12.90	49.78
Centro	Verão	1.25	2.05	14.56	25.44		32.99	23.71
	Primavera	3.01	13.20	28.73	33.35		9.85	11.86
Cidade de Deus	Verão						0.17	12.00
	Primavera					1.76	79.24	7.76
Cidade Nova	Verão						9.49	50.71
	Primavera					10.36	63.78	16.08
Cidade Universitária	Verão	2.65	5.62	7.77	19.31		23.40	41.25
	Primavera	2.24	9.49	14.12	23.70		21.23	29.23
Cocotá	Verão	0.22	1.33	8.41	28.81		20.50	40.73
	Primavera	2.19	5.84	26.07	28.57		10.67	26.66
Coelho Neto	Verão						1.27	9.33
	Primavera					3.09	48.41	32.93
Colégio	Verão						0.20	8.48
	Primavera					4.51	61.69	18.57
Complexo do Alemão	Verão					2.49	24.55	42.88

	Primavera		2.33	46.23	26.95		10.06	14.43
Copacabana	Verão	4.17	17.54	44.64	13.13		12.82	7.70
	Primavera	8.70	53.00	18.39	10.80		7.52	1.58
Cordovil	Verão		0.69	1.98	3.91		40.88	52.54
	Primavera	0.61	2.49	10.77	69.41		7.24	9.47
Cosme Velho	Verão	3.16	21.80	27.56	22.81		17.17	7.50
	Primavera	4.02	24.17	29.29	26.41		14.13	1.98
Cosmos	Verão		0.88	4.51	7.57		10.15	76.88
	Primavera		1.51	9.19	24.96		38.99	25.34
Costa Barros	Verão				1.29		12.12	86.59
	Primavera			6.98	54.64		11.16	27.22
Curicica	Verão			0.50	5.49		18.28	75.73
	Primavera		1.22	8.31	58.77		11.50	20.20
Del Castilho	Verão				0.84		20.45	78.71
	Primavera			1.31	35.74		44.75	18.20
Deodoro	Verão			17.60	16.32		14.88	51.20
	Primavera		5.25	27.66	26.10		19.32	21.66
Encantado	Verão						11.62	88.38
	Primavera				69.52		14.81	15.66
Engenheiro Leal	Verão			1.52	22.53		24.38	51.57
	Primavera		1.28	29.98	43.19		14.61	10.94
Engenho da Rainha	Verão			1.15	10.78		24.28	63.79
	Primavera		1.83	9.56	49.84		16.94	21.83
Engenho de Dentro	Verão		0.47	5.56	8.02		15.26	70.68
	Primavera		0.31	9.26	49.83		23.91	16.69
Engenho Novo	Verão			4.63	15.17		49.59	30.61
	Primavera		0.03	10.16	62.41		15.67	11.72
Estácio	Verão			2.55	31.71		32.14	33.60
	Primavera		2.03	36.11	35.51		6.84	19.50
Flamengo	Verão	1.03	11.09	32.30	22.74		21.78	11.06
	Primavera	4.35	32.95	18.72	11.77		22.11	10.10
Freguesia (Ilha)	Verão	6.39	27.93	15.96	21.05		10.18	18.50
	Primavera	12.85	31.56	25.26	13.95		8.69	7.69
Freguesia (Jacarepaguá)	Verão	1.10	17.24	9.10	11.43		19.24	41.88
	Primavera	2.29	15.68	23.61	23.89		13.94	20.59
Gávea	Verão	34.01	22.12	18.62	12.81		9.36	3.07
	Primavera	35.98	23.76	18.84	12.33		7.61	1.48
Galeão	Verão	0.03	2.26	12.63	12.62		13.30	59.17
	Primavera	0.98	10.21	16.25	16.72		27.00	28.85
Gamboa	Verão			4.63	25.66		43.56	26.15
	Primavera		2.02	27.36	50.16		9.97	10.48
Gardênia Azul	Verão				0.48		25.57	73.95
	Primavera		0.70	8.01	59.40		11.14	20.76
Gericinó	Verão		5.34	2.60	7.40		15.59	69.07
	Primavera	3.73	11.47	22.89	27.51		22.46	11.95
Glória	Verão	0.59	1.39	8.67	25.96		24.38	39.02
	Primavera	1.04	5.46	24.01	15.34		26.53	27.63
Grajaú	Verão	26.74	18.67	12.72	12.61		11.66	17.60
	Primavera	27.77	17.00	15.95	20.43		6.44	12.40

Grumari	Verão	89.41	7.00	2.97	0.58	0.03	
	Primavera	95.22	3.94	0.68	0.16		
Guadalupe	Verão			0.09	1.68	10.32	87.92
	Primavera		0.05	5.37	40.56	35.66	18.37
Guaratiba	Verão	6.01	12.76	21.87	16.64	14.87	27.85
	Primavera	11.44	28.40	26.15	18.03	10.36	5.62
Higienópolis	Verão					42.29	57.71
	Primavera				40.73	53.74	5.53
Honório Gurgel	Verão					3.42	96.58
	Primavera			0.11	49.26	36.99	13.65
Humaitá	Verão	13.03	24.64	27.40	14.05	11.62	9.26
	Primavera	14.34	30.53	30.17	10.04	9.68	5.23
Imperial de São Cristóvão	Verão			0.45	10.07	54.88	34.61
	Primavera		0.54	8.51	43.14	32.87	14.94
Inhaúma	Verão				1.06	24.79	74.15
	Primavera		0.15	4.41	43.21	31.47	20.76
Inhoaíba	Verão		0.40	4.40	7.21	7.22	80.76
	Primavera		0.48	7.17	25.32	41.03	26.00
Ipanema	Verão	26.71	16.28	29.51	7.03	14.61	5.86
	Primavera	35.14	38.82	6.58	13.34	6.08	0.03
Irajá	Verão				0.26	10.47	89.26
	Primavera		0.10	2.56	58.09	24.94	14.32
Itanhangá	Verão	30.12	24.64	16.96	14.96	8.44	4.88
	Primavera	45.00	25.82	18.03	7.48	3.21	0.46
Jacaré	Verão					28.96	71.04
	Primavera				43.28	40.88	15.84
Jacarepaguá	Verão	25.36	23.59	16.27	10.02	9.69	15.07
	Primavera	30.33	25.49	19.19	12.61	6.68	5.72
Jacarezinho	Verão				28.65	39.24	32.11
	Primavera			22.01	46.21	16.24	15.53
Jardim América	Verão			0.11	0.72	7.63	91.54
	Primavera	0.02	0.14	3.85	77.11	10.79	8.10
Jardim Botânico	Verão	15.64	25.97	19.18	14.65	13.65	10.90
	Primavera	6.97	35.35	23.25	14.87	13.76	5.80
Jardim Carioca	Verão				26.37	33.81	39.82
	Primavera			45.72	27.85	5.24	21.19
Jardim Guanabara	Verão	0.10	0.91	2.50	17.98	35.97	42.54
	Primavera	1.01	3.52	30.28	30.96	10.85	23.38
Jardim Sulacap	Verão		5.59	24.08	23.16	11.14	36.04
	Primavera	0.05	3.50	18.06	30.24	21.41	26.74
Joá	Verão	49.21	26.47	17.79	4.83	1.62	0.08
	Primavera	67.42	22.15	9.36	0.87	0.20	
Lagoa	Verão	48.50	10.77	8.68	11.07	11.36	9.62
	Primavera	50.18	15.87	10.98	11.72	8.57	2.68
Lapa	Verão			1.85	50.65	35.53	11.97
	Primavera		0.04	39.95	50.60	2.88	6.53
Laranjeiras	Verão		12.96	31.15	22.55	16.37	16.97
	Primavera	0.14	17.05	41.38	17.47	15.83	8.13
Leblon	Verão	8.27	20.60	21.50	16.98	22.72	9.93

	Primavera	13.42	33.88	13.63	19.47	17.11	2.48
Leme	Verão	27.36	23.38	20.55	13.31	9.76	5.63
	Primavera	19.58	40.51	19.81	11.33	6.97	1.80
Lins de Vasconcelos	Verão		0.03	10.72	18.13	30.24	40.89
	Primavera		0.70	12.94	36.11	21.90	28.35
Méier	Verão			0.02	1.03	47.89	51.06
	Primavera		0.42	1.94	75.50	11.17	10.97
Madureira	Verão			0.06	3.47	12.44	84.03
	Primavera		0.13	5.07	67.10	15.15	12.55
Magalhães Bastos	Verão					1.18	98.82
	Primavera			0.26	35.71	45.14	18.88
Mangueira	Verão			7.02	31.67	32.88	28.43
	Primavera		12.78	30.07	37.31	11.80	8.03
Manguinhos	Verão			0.80	20.63	40.10	38.47
	Primavera		2.47	18.49	43.54	17.31	18.20
Maré	Verão		0.04	1.69	28.81	45.83	23.63
	Primavera	0.09	2.32	28.19	46.83	12.54	10.03
Maracanã	Verão			0.42	21.86	44.19	33.53
	Primavera			22.37	51.22	13.95	12.46
Marechal Hermes	Verão					0.47	99.53
	Primavera			0.12	44.27	36.27	19.35
Maria da Graça	Verão				0.25	35.44	64.31
	Primavera			0.11	52.52	22.36	25.02
Moneró	Verão		0.57	3.65	30.56	34.40	30.83
	Primavera	0.61	6.05	33.31	38.66	5.78	15.59
Olaria	Verão			0.00	5.22	57.35	37.43
	Primavera			9.50	70.56	10.51	9.44
Oswaldo Cruz	Verão					2.16	97.84
	Primavera				80.24	13.45	6.32
Paciência	Verão		0.18	5.24	9.04	11.43	74.11
	Primavera	0.38	4.47	11.65	24.85	27.69	30.95
Padre Miguel	Verão			0.01	1.32	6.06	92.61
	Primavera			0.10	16.00	65.00	18.90
Paquetá	Verão	10.92	21.31	21.28	15.11	14.61	16.77
	Primavera	21.99	25.65	19.48	16.13	12.42	4.33
Parada de Lucas	Verão		1.30	8.37	9.29	28.08	52.96
	Primavera	0.09	7.97	16.14	54.48	9.97	11.35
Parque Anchieta	Verão			14.83	13.83	12.71	58.63
	Primavera		5.37	18.28	56.03	10.35	9.97
Parque Colúmbia	Verão	1.05	1.35	1.86	3.86	18.94	72.93
	Primavera	3.52	2.62	10.27	35.33	29.78	18.50
Pavuna	Verão			0.06	0.74	17.57	81.62
	Primavera	0.02	0.21	5.35	52.96	20.77	20.70
Pechincha	Verão			0.02	5.90	30.70	63.38
	Primavera		0.24	8.97	40.63	14.17	35.99
Pedra de Guaratiba	Verão	0.01	0.04	0.94	6.83	16.00	76.18
	Primavera	1.01	2.00	13.01	29.53	28.12	26.33
Penha	Verão		0.01	0.10	6.98	46.47	46.45
	Primavera		0.16	12.68	52.68	16.60	17.87

Penha Circular	Verão		0.11	0.96	5.46	29.29	64.18
	Primavera	0.16	0.98	6.92	57.08	23.19	11.67
Piedade	Verão		4.04	6.72	3.98	15.44	69.82
	Primavera	0.06	4.48	9.36	57.97	10.74	17.38
Pilares	Verão				0.01	7.95	92.03
	Primavera			1.17	57.96	27.18	13.69
Pitangueiras	Verão		1.73	26.92	31.16	13.18	27.02
	Primavera	0.59	25.73	33.01	11.97	19.93	8.77
Portuguesa	Verão			2.50	12.51	41.79	43.20
	Primavera	0.26	3.71	26.59	38.26	10.32	20.87
Praça da Bandeira	Verão				6.03	51.12	42.85
	Primavera			4.91	60.99	19.24	14.87
Praça Seca	Verão		1.55	8.60	15.97	23.88	49.99
	Primavera		1.73	15.76	44.49	15.01	23.01
Praia da Bandeira	Verão	0.27	1.13	8.21	24.94	8.07	57.38
	Primavera	0.45	4.77	42.89	5.55	15.46	30.88
Quintino Bocaiúva	Verão	0.01	9.10	10.13	14.55	18.04	48.16
	Primavera	3.83	5.28	6.73	42.74	17.92	23.50
Ramos	Verão				3.77	69.40	26.84
	Primavera			6.19	72.51	15.91	5.39
Realengo	Verão	3.16	3.64	6.65	12.11	13.66	60.78
	Primavera	5.05	4.28	9.02	28.82	32.72	20.11
Recreio dos Bandeirantes	Verão	13.48	19.79	23.06	17.79	12.89	13.00
	Primavera	25.61	29.23	22.77	11.67	8.18	2.55
Riachuelo	Verão			1.84	20.25	53.36	24.55
	Primavera			1.17	50.57	34.96	13.29
Ribeira	Verão	2.76	8.35	25.01	36.74	11.45	15.69
	Primavera	9.06	23.95	37.50	13.73	10.56	5.19
Ricardo de Albuquerque	Verão				0.00	14.80	85.20
	Primavera			11.77	56.21	11.31	20.71
Rio Comprido	Verão	7.43	18.10	15.97	21.50	19.79	17.20
	Primavera	4.58	22.47	29.89	25.95	8.76	8.34
Rocha	Verão			2.62	11.64	34.24	51.49
	Primavera			2.85	39.31	40.08	17.76
Rocha Miranda	Verão				0.27	5.70	94.03
	Primavera			1.92	70.91	18.06	9.11
Rocinha	Verão	32.41	30.66	27.85	3.94	3.53	1.61
	Primavera	46.91	36.88	9.57	5.41	1.19	0.04
São Conrado	Verão	58.55	17.90	11.18	7.00	3.38	1.98
	Primavera	66.38	15.98	10.55	4.42	1.61	1.05
São Francisco Xavier	Verão			2.45	7.95	49.78	39.81
	Primavera			0.23	45.01	32.74	22.02
Saúde	Verão		0.19	2.88	37.40	42.36	17.17
	Primavera		6.80	55.09	23.34	7.53	7.25
Sampaio	Verão			1.11	12.02	54.74	32.13
	Primavera			0.81	49.23	23.34	26.63
Santa Cruz	Verão	0.81	4.58	9.63	15.82	19.02	50.14
	Primavera	4.73	15.02	27.61	27.10	14.75	10.79
Santa Teresa	Verão	30.96	11.32	12.71	17.88	11.03	16.10

	Primavera	28.04	17.54	22.02	14.48	10.90	7.02
Santíssimo	Verão			0.93	4.45	14.03	80.59
	Primavera		1.24	15.84	41.73	21.38	19.81
Santo Cristo	Verão		0.08	2.37	12.22	49.39	35.95
	Primavera		0.41	13.01	49.41	24.96	12.20
Senador Camará	Verão	20.49	7.40	7.51	10.12	8.49	45.99
	Primavera	17.81	12.19	14.47	26.83	16.90	11.79
Senador Vasconcelos	Verão			10.05	17.87	12.80	59.28
	Primavera		6.62	23.25	41.04	12.28	16.81
Sepetiba	Verão	0.09	1.02	3.04	6.09	17.77	72.00
	Primavera	2.51	6.60	31.21	23.31	15.78	20.58
Tanque	Verão		2.78	9.50	15.47	25.92	46.33
	Primavera		3.69	20.65	37.95	16.25	21.45
Taquara	Verão		0.90	10.28	5.73	15.15	67.93
	Primavera		2.67	16.75	42.18	13.49	24.92
Tauá	Verão	0.03	0.42	1.42	26.81	39.57	31.76
	Primavera	0.77	2.85	27.46	43.92	6.77	18.23
Tijuca	Verão	18.53	11.46	7.24	26.62	15.73	20.41
	Primavera	16.04	13.81	28.13	21.20	9.13	11.68
Todos os Santos	Verão					28.63	71.37
	Primavera			2.21	84.34	4.45	9.01
Tomás Coelho	Verão			0.03	7.19	24.78	68.00
	Primavera			7.31	52.54	16.48	23.66
Turiaçu	Verão				1.20	15.23	83.57
	Primavera		0.48	5.13	62.70	13.94	17.74
Urca	Verão	32.04	20.35	14.93	12.06	10.38	10.23
	Primavera	29.58	26.26	17.61	12.03	9.50	5.03
Vargem Grande	Verão	44.33	24.25	10.98	9.91	5.58	4.95
	Primavera	67.57	13.77	10.97	5.35	1.93	0.42
Vargem Pequena	Verão	24.88	19.70	17.46	16.04	9.89	12.03
	Primavera	42.39	21.60	18.54	9.58	5.66	2.23
Vasco da Gama	Verão		0.07	2.00	17.98	55.03	24.93
	Primavera			11.77	59.36	15.44	13.43
Vaz Lobo	Verão				0.57	20.16	79.28
	Primavera			0.45	65.98	14.73	18.85
Vicente de Carvalho	Verão			0.51	12.78	16.54	70.17
	Primavera			2.61	48.10	36.98	12.30
Vidigal	Verão	34.47	17.51	22.27	12.13	8.20	5.43
	Primavera	50.28	27.41	11.03	7.99	3.08	0.21
Vigário Geral	Verão		0.35	1.28	4.13	17.73	76.51
	Primavera	0.63	2.26	9.24	65.31	8.04	14.52
Vila da Penha	Verão					4.35	95.65
	Primavera			0.90	80.64	16.34	2.12
Vila Isabel	Verão			0.44	17.50	54.66	27.40
	Primavera		1.26	15.15	62.75	8.71	12.13
Vila Kennedy	Verão					2.11	97.89
	Primavera			8.98	74.51	1.69	14.81
Vila Kosmos	Verão			0.43	18.55	27.31	53.71
	Primavera		0.41	8.90	36.45	34.03	20.20

Vila Militar	Verão			7.71	10.26		13.24	68.79
	Primavera			1.48	15.05	24.99	23.36	35.12
Vila Valqueire	Verão			1.48	11.79	7.92	20.97	57.84
	Primavera			0.12	8.62	54.08	15.55	21.63
Vista Alegre	Verão						25.58	74.42
	Primavera			1.04	81.28		9.11	8.56
Zumbi	Verão			0.33	11.62	50.41	4.95	32.70
	Primavera	0.23	20.23	53.33	6.59		11.07	8.56