



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge>



Fragmentação da paisagem no contexto conceitual de uma Trama Verde-Azul em Porto Alegre (Rio Grande do Sul), Brasil

Paulo Lima Loge¹, Eliana Lima da Fonseca², André Luiz Lopes da Silveira³

¹ Arquiteto e Urbanista da Prefeitura Municipal de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Mestre e Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional (PROPUR-UFRGS) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rua Sarmento Leite, 320, 5º andar, CEP 90050-170, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, paulo.loge@ufrgs.br, (autor correspondente). ² Mestre em Agrometeorologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Doutora em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Professora nos cursos de graduação em Geografia, Agronomia e Zootecnia, Professora associada no Programa de Pós-Graduação em Geografia (POSGEA-UFRGS) e Coordenadora do Laboratório de Geotecnologias Aplicadas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Av. Bento Gonçalves, 9500, Prédio 43113/203, Campus do Vale, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, CEP 91540-000, eliana.fonseca@ufrgs.br. ³ Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH-UFRGS), diplomado pelo D. E. A National DHydrologie e Doutor em Sciences de LEau dans LEnvironnement Continental - Université de Montpellier II, França, Professor em Hidrologia no IPH-UFRGS, Professor Orientador no Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROFÁGUA-UFRGS) e no Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional (PROPUR-UFRGS), Av. Bento Gonçalves, 9500, Caixa Postal 15029, Campus do Vale, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, CEP 91501-970, andre@iph.ufrgs.br

Artigo recebido em 07/11/2022 e aceito em 18/12/2022

RESUMO

Porto Alegre encontra-se ecologicamente situada numa transição entre os biomas Pampa e Mata Atlântica. Da cobertura vegetal original, somente os campos e florestas nos relevos de maior altitude do município ainda mantém características da vegetação original. A descaracterização das paisagens é uma das principais causas da perda da biodiversidade nas últimas décadas nas florestas tropicais, principalmente a Mata Atlântica. O bioma Pampa também tem sofrido com a degradação da vegetação campestre nativa decorrente da urbanização e a agropecuária no município. A Trama Verde-Azul é uma abordagem conceitual que busca, entre outros objetivos, identificar as causas da fragmentação de habitats e estimular ações para a restauração destes espaços; neste sentido, o sensoriamento remoto e o geoprocessamento são importantes ferramentas da geociência que auxiliam na análise de fenômenos que ocorrem no espaço geográfico. A partir de imagens do satélite Sentinel 2A e da coleção Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) é realizada a classificação de estratos da paisagem e uma Elipse de Dispersão Espacial com o objetivo de identificar a influência da urbanização na fragmentação das florestas em relação a altitude do relevo. Os resultados mostram que a urbanização (principalmente o bairro Restinga) ocupou predominantemente os relevos mais planos nas baixas altitudes, que as florestas tendem a localizar-se nas maiores altitudes e que o impacto ambiental tende a ter sido maior sobre os campos nativos (gramíneas e arbustivos) do que sobre as matas; sugerindo a viabilidade do método como contribuição metodológica na abordagem Trama Verde-Azul no diagnóstico de fragmentação de paisagens a ser aplicada no planejamento urbano e ambiental.

Palavras-chave: Fragmentação da paisagem, Geociência, Elipse de Dispersão Espacial, Trama Verde-Azul

Landscape fragmentation in the conceptual of a Green-Blue Grid context in Porto Alegre (Rio Grande do Sul), Brazil

ABSTRACT

Porto Alegre is ecologically placed in a transition between the Pampa and Atlantic Forest biomes. Of the original vegetation, only the fields and forests in the higher altitude terrains of the municipality still maintain the characteristics of the original cover. Anthropogenic action on landscapes is one of the main causes of the decrease in of biodiversity in the last decades, mainly in rain forests, as Atlantic forest. The Pampa biome has also affected from the degradation of native grassland vegetation resulting from agriculture and forestry. The Green-Blue Grids is an approach that seeks, among other objectives, to identify the causes of habitat fragmentation and stimulate actions to restore these spaces; in this sense, remote sensing and geoprocessing are important geoscience tools that help in the analysis of phenomena in geographic space. From the images of the Sentinel 2A satellite and the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) collection, a classification of landscape strata and a Spatial Dispersion Ellipse is made to identify the fragmentation of forests in relation to the altitude of the relief. The results show that urbanization (mainly the Restinga neighborhood) predominantly occupied the flatter reliefs at low altitudes, forests tend to be located at higher altitudes and that the environmental impact

tends to have been greater on native fields (grasses and shrubs) than on rain forests suggesting the feasibility of the method as a methodological contribution in the Green-Blue approach in the diagnosis of landscapes fragmentation to be applied in urban and environmental planning.

Keywords: Landscape fragmentation, Geoscience, Spatial Dispersion Ellipse, Green-Blue Grid

Introdução

Os desafios atuais de alterações no clima exigem a adoção de medidas de enfrentamento das suas causas e identificação dos fenômenos que tem provocado o desequilíbrio nos padrões entre a temperatura e o clima do planeta. A preservação dos espaços naturais não é possível sem a proteção dos habitats da fauna e flora nativas e a identificação dos processos naturais e antrópicos que ocasionam a fragmentação destes locais, com a consequente diminuição da biodiversidade. A Trama Verde-Azul é uma abordagem conceitual que busca identificar a ruptura de conectividade destes sítios a fim de estimular ações (pesquisas, projetos, políticas públicas, entre outros) para a restauração destes espaços em sintonia com a dinâmica da sociedade contemporânea. O tema tem grande suporte político e jurídico na França onde a lei conhecida como *Grenelle* determina como compromisso do Estado a adoção de uma política territorial favorável de coerência ecológica baseado na integração dos corredores de fauna e flora no planejamento territorial (França, 2009).

Porto Alegre encontra-se ecologicamente situada num contexto de transição entre os biomas Pampa e Mata Atlântica. Do ponto de vista geomorfológico, o município é caracterizado por elevações residuais de rochas graníticas (pertencentes ao Escudo Sul-Rio-Grandense) modeladas por transgressões e regressões do mar há mais de 400 mil anos. O relevo é constituído por três tipos característicos de paisagens: (1) Terras Baixas ao norte, (2) das Terras Altas no centro e das (3) Terras Baixas e Morros Isolados ao sul (Menegat et al., 1998, p. 27). Da cobertura vegetal original, somente os campos e florestas nos relevos de maior altitude ainda mantém características da vegetação original, principalmente nos morros da zona sul e nas áreas úmidas do delta do rio Jacuí (Hasenack et al., 2008).

O bioma Pampa tem sofrido com a degradação da vegetação campestre nativa no Rio Grande do Sul ao longo dos séculos, como por exemplo na região setentrional do Estado em decorrência da silvicultura e cultura de soja nos últimos 15 anos (Menge et al., 2020). Também tem sido presenciado, em ambos os biomas no município, a diminuição da área de cobertura vegetal original, sendo que na região metropolitana de Porto Alegre, a urbanização e a atividade

agropecuária têm impactado os campos e florestas naturais ocasionando reflexos na água bruta do lago Guaíba que se encontra poluído e com limitação de seus usos (Andrade et al., 2019). O bioma Mata Atlântica se encontra altamente fragmentado em todo o país (restam apenas 12,4% da cobertura florestal original da época do descobrimento) (Mata Atlântica, 2022), sendo fundamental a realização de esforços principalmente para a proteção do entorno das matrizes ainda preservadas para a qualidade ambiental de áreas florestais isoladas (Costa et al., 2019).

O conhecimento da tendência de urbanização em relação aos estratos paisagísticos preferenciais é um dos conceitos adotados na estruturação de uma Trama Verde-Azul que pode identificar sítios importantes a serem preservados para servirem de locais de alimentação, descanso e reprodução das espécies (Ressources, 2022). A busca de dados sobre o espaço geográfico é fundamental neste esforço, e neste sentido, as imagens de satélite e o geoprocessamento são importantes ferramentas da geociência que auxiliam na identificação da tendência de continuidade e segmentação das paisagens (Thiago et al., 2020).

O sensoriamento remoto é uma tecnologia de grande auxílio no monitoramento das áreas com cobertura vegetal, visto que permite realizar pesquisas sobre a propriedade de objetos sem necessariamente haver o contato entre eles e quando sistematizadas no ambiente do Sistema de Informações Geográficas (SIG) permite realizar estudos no espaço geográfico com rapidez e precisão. Exemplificando, a tecnologia é muito utilizada no processamento do NDVI (Índice de Diferença Normalizada de Vegetação) em estudos relacionados a classificação e estado sanitário de estratos vegetais mostrando sua eficiência como ferramenta de controle ambiental (Moreno et al., 2020), (Peruzzo et al., 2019), (Gomes et al., 2020). Ainda que as imagens de satélite tenham limites para a compreensão completa de fenômenos ambientais, o monitoramento sistemático é fundamental para subsidiar estratégias de gestão de uso, ocupação do solo e proteção de remanescentes de vegetação nativa (Ribeirinha et al., 2021).

A partir do recorte amostral dos bairros Belém Velho, Restinga, Lageado e Boa Vista do Sul na cidade de Porto Alegre (Rio Grande do Sul), é feita a classificação de imagens obtidas do Satélite *Sentinel 2A* das classes urbano, gramínea, arbustivo e floresta, bem como a obtenção do *Modelo Digital de Elevação* (coleção *USGS/SRTMGL1_003*) através da plataforma *Google Earth Engine*. As imagens são exportadas e processadas no programa *Qgis* (versão 3.10.10) onde é feito um estudo comparativo de cada classe baseado numa *Elipse de Dispersão Espacial* dos centróides da classe florestal projetadas na altimetria do relevo. A técnica se mostrou adequada no diagnóstico da fragmentação urbana na cidade de Piracicaba (São Paulo) utilizando dados da distribuição espacial da população nos bairros do município (Alves et al., 2020).

Estudo realizado em Unidades de Conservação na Europa por Lawrence et al. (2021) utilizando uma métrica de fragmentação da

paisagem, mostrou que o desenvolvimento antropogênico pode afetar o interior destas Unidades, bem como a baixa fragmentação tende a se localizar onde a topografia limita o desenvolvimento da infraestrutura humana (Lawrence et al., 2021).

Com base neste pressuposto, a hipótese da pesquisa é de que a urbanização tenha fragmentado mais intensamente os campos nativos (gramíneas e arbustivos) nos terrenos mais planos do que as florestas remanescentes da Mata Atlântica nas maiores altitudes. Conforme exposto, o objetivo do trabalho é identificar em qual altimetria do relevo e qual das classes de vegetação (gramíneas, arbustivo e floresta) foi mais afetada pela urbanização no interior da *Elipse de Dispersão Espacial*, bem como sugerir a viabilidade do método como contribuição metodológica na abordagem Trama Verde-Azul no diagnóstico de fragmentação de paisagens a ser aplicada no planejamento urbano e ambiental.

Material e métodos

Área de Estudo

A área de estudo dos quatro bairros analisados (Belém Velho, Restinga, Lageado e Boa Vista do Sul) possui conjuntamente a superfície de 76,77 km² (Figura 1) e para a realização da

pesquisa, foram utilizadas imagens do satélite *Sentinel-2A* com porcentagem de nuvens menor do que 10% proveniente do sensor *Multispectral Instrument (MSI)* de 19 de janeiro de 2022 (grade de referência UTM T22JDM).

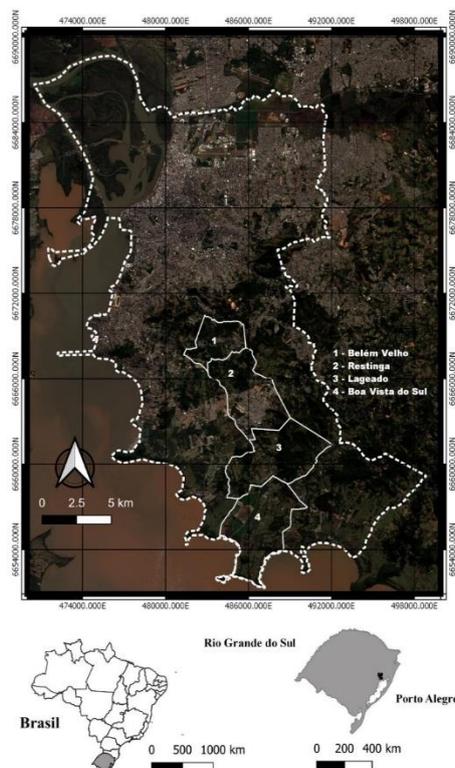


Figura 1. Bairros: Belém Velho, Restinga, Lageado e Boa Vista do Sul de acordo com a delimitação administrativa da prefeitura Municipal de Porto Alegre (ObservaPOA, 2022).

Classificação

A paisagem é estratificada em: urbano, gramíneas, arbustivo e floresta através da classificação supervisionada pelo algoritmo *SmileCart* com o treinamento das bandas espectrais na escala de dez metros. As cenas foram processadas na plataforma *Google Earth Engine*

que disponibiliza recursos de computação de alto desempenho (em nuvem) e permite processar grande conjuntos de dados geoespaciais (Mutanga et al., 2019). Os valores de refletância no topo da atmosfera (Tabela 1) com resolução espacial de 20 metros correspondem:

Tabela 1. Identificação e comprimento de onda central das bandas do sentinel-2.

| | |
|----------|-------------------------------|
| Banda 5 | (borda vermelha 1 - 703,8 nm) |
| Banda 6 | (borda vermelha 2 - 739,1 nm) |
| Banda 7 | (borda vermelha 3 - 779,3nm) |
| Banda 8A | (borda vermelha 4 - 864 nm) |
| Banda 11 | (Roda 1 - 1610,4 nm) |
| Banda 12 | (Roda 2 - 2185,7 nm) |

A técnica é baseada em árvores de classificação e regressão que busca observar as características de variações dos pixels em diferentes regiões. O classificador *Cart* incorpora a padronização de divisões em nós de uma matriz *N* de distintos valores ($x_{1,1}, x_{1,2}, \dots, x_{1,n}$) onde é feita a comparação e seleção dos elementos mais compatíveis (Breiman et al., 1984, p. 29).

A classificação resulta num arquivo exportado na extensão *Tiff* que posteriormente é vetorizado e as feições corrigidas no software *Qgis* (versão 3.10.10) pelas ferramentas: *Verificador de topologia* e *Corrigir Geometrias*.

Os arquivos de dados foram georreferenciados no Sistema de Coordenadas Geográficas *Sirgas 2000 UTM 22S* em conformidade com a base cartográfica da Prefeitura Municipal de Porto Alegre.

Acurácia

A acurácia da classificação é realizada no *Qgis* através do *Semi Automatic Classification Plugin*, conforme valores (Tabela 2) sugeridos por Landis et al. (1977):

Tabela 2- Índice de kappa (Landis et al., 1977).

| Classes do índice | Desempenho |
|-------------------|------------|
| < 0 | Péssimo |
| 0 - 0,2 | Ruim |
| 0,21 - 0,4 | Razoável |
| 0,41 - 0,6 | Bom |
| 0,61 - 0,8 | Muito Bom |
| 0,81 - 1,0 | Excelente |

Elipse de Dispersão Espacial

A estatística descritiva é uma disciplina que busca organizar dados de forma simplificada para a compreensão de fenômenos. A fim de identificar a tendência de ocorrência espacial das classes de vegetação, a *Elipse de Dispersão Espacial* é

uma técnica desta disciplina que possibilita a projeção da distribuição dos fragmentos florestais nos eixos *x* e *y* sobre o relevo que permite identificar os possíveis processos de fragmentação de paisagens. A *Elipse* foi feita a partir dos centroides da classe florestal conforme Tabela 3:

Tabela 3 – Quantidade de centroides da *Elipse de Dispersão Espacial* por bairro.

| | Belém Velho | Restinga | Lageado | Boa Vista do Sul | Total |
|------------------|-------------|----------|---------|------------------|-------|
| Nº de centróides | 114 | 211 | 261 | 348 | 934 |

A ferramenta é um método da estatística descritiva que possibilita análise da continuidade espacial com base na distribuição bivariada a partir do desvio

padrão nas direções ortogonais χ (longitudinal) e γ (latitudinal) que definem a elipse conforme Equação 1 (Ebdon, 1985):

$$Distribuição\ Bivariada = \sqrt{\frac{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}{2}} \quad (1)$$

Em que:

σ_x = Desvio Padrão na direção x;

σ_y = Desvio Padrão na direção y;

As coordenadas dos centroides são determinadas pelas equações:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n}} \quad (2)$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}{n}} \quad (3)$$

Onde: x e y são as coordenadas dos pontos.

A *Elipse* é executada através do plugin *Standard Deviatonal Ellipse* do *Qgis* com a finalidade de identificar a tendência de dispersão das matas na área de estudo.

Análise comparativa

Sendo um dos eixos conceituais de uma Trama Verde-Azul a identificação das causas que promovem a fragmentação da paisagem, a projeção das classes analisadas (urbano, gramíneas, arbustivo e florestas) no Modelo Digital de Elevação permite a identificação da tendência de

ocorrência em relação ao relevo. Através da Elipse de Dispersão das florestas busca-se identificar se a urbanização foi mais intensa dentro ou fora dela, bem como a probabilidade da classe vegetal mais afetada, conforme metodologia sintetizada na Figura 2.

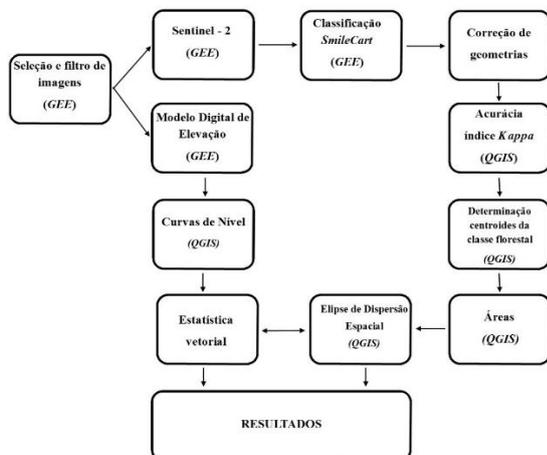


Figura 2. Fluxograma metodológico.

Resultados e discussão

Considerando a altimetria da área de estudo (Figura 3) com o nível do lago Guaíba na cota zero, constata-se que a maior altitude média é no Belém Velho (118,04 m) e a menor na Boa Vista do Sul (18,45 m). Dos quatro bairros, a cota zero está no bairro Boa Vista do Sul e a máxima (270,00 m) na Restinga e Lageado, sendo que maioria das cotas na área de estudo estão até 40,00 m e a minoria acima de 100,00 m (Tabela 4).

A classificação das imagens do satélite Sentinel 2A foi validada pela acurácia numa matriz de confusão através do índice Kappa com 40 pontos de coleta de amostras (dez da classe “urbana”, dez de “gramíneas”, dez de “arbustivo” e dez de “florestas”). A classificação obteve o valor 0,7785 que é considerado “muito bom” de acordo

com a escala sugerida por Landis e Koch (1977). A classe arbustiva obteve a menor acurácia do produtor em decorrência de situar-se no gradiente

entre as gramíneas e as florestas o que ocasiona maiores erros de classificação (Tabela 5).

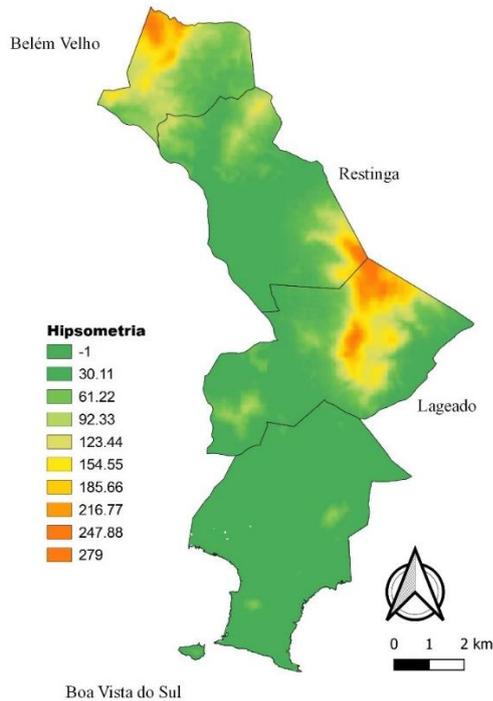


Figura 3. Hipsometria.

Tabela 4. Altimetria dos bairros e das classes

| | Belém Velho | Restinga | Lajeado | Boa Vista Sul | Urbano | Gramíneas | Arbustivo | Florestas |
|----------------------|-------------|----------|---------|---------------|--------|-----------|-----------|-----------|
| <i>média</i> | 118,04 | 62,55 | 80,36 | 18,45 | 61,12 | 70,84 | 74,32 | 74,55 |
| <i>mediana</i> | 110,00 | 30,00 | 40,00 | 10,00 | 50,00 | 60,00 | 60,00 | 60,00 |
| <i>desvio padrão</i> | 59,83 | 62,69 | 75,69 | 12,29 | 45,94 | 52,46 | 57,76 | 58,80 |
| <i>mínimo</i> | 40,00 | 10,00 | 10,00 | 0,00 | 10,00 | 10,00 | 10,00 | 10,00 |
| <i>máximo</i> | 250,00 | 270,00 | 270,00 | 70,00 | 240,00 | 280,00 | 270,00 | 270,00 |
| <i>maioria</i> | 40,00 | 20,00 | 20,00 | 10,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 | 20,00 |
| <i>minoria</i> | 160,00 | 150,00 | 100,00 | 0,00 | 230,00 | 280,00 | 260,00 | 260,00 |

Tabela 5. Matriz de erro

| | Urbano | Gramínea | Arbustivo | Floresta | Total |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <i>Urbano</i> | 5148 | 373 | 14 | 0 | 5535 |
| <i>Gramínea</i> | 855 | 4279 | 157 | 18 | 5309 |
| <i>Arbustivo</i> | 303 | 241 | 3796 | 158 | 4498 |
| <i>Floresta</i> | 25 | 94 | 1144 | 5884 | 7147 |
| <i>Total</i> | 6331 | 4987 | 5111 | 6060 | 22489 |
| Acurácia Produtor | 68,09% | 88,75% | 73,50% | 97,27% | |
| Acurácia Usuário | 93,01% | 80,60% | 84,39% | 82,33% | |

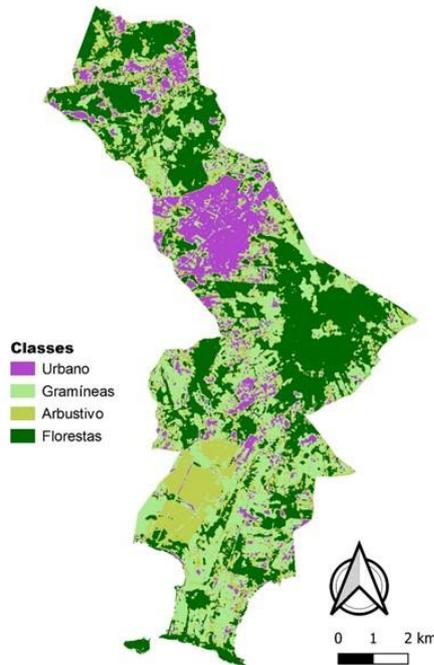


Figura 4. Classificação.

Via de regra, a urbanização tende a ocorrer nos relevos de menor declividade conforme exemplificado num estudo (com recorte no ano de 2016) mostrando que 81,24% da área urbanizada do Distrito Federal foi implantada sobreposta a área de recarga de aquíferos (que também abrigavam grande parte da cobertura vegetal nativa) em declividades menores que 12% (Seraphim et al., 2019). Porto Alegre está entre as cidades pioneiras no Brasil por realizar intervenções urbanísticas de forma planejada (Alegre, 2020) quase sempre com forte influência conceitual do *Higienismo* (que tem sido praticado no Brasil há décadas) através da drenagem de bacias hidrográficas e a canalização de arroios (Neto et al., 2019).

Os resultados (Figura 4) e (Tabela 5 e 6) confirmam a Restinga como o bairro mais urbanizado (58% do conjunto). Nos demais ocorrem aglomerados urbanos menores e mais esparsos na cota média de 60,00 m que abrigam vilas mais antigas (Belém Velho) e novos núcleos urbanos (muitos dos quais para classes de menor renda) em locais com pouca infraestrutura (alguns irregulares), mais segregadas do ponto de vista socioespacial (Fagundes et al., 2021), (Hasenack et

al., 2008, p. 80). O projeto habitacional Nova Restinga (situado na bacia hidrográfica do Arroio do Salso) foi realizado nos anos 70 do século passado decorrente da remoção de moradores das Vilas Theodora, Marítimos, Ilhota e Santa Luzia em 1966 associadas à eliminação de territórios negros nas regiões centrais de Porto Alegre (Araújo, 2019).

Entre as classes de vegetação, a gramínea e arbustiva é mais abundante na Boa Vista do Sul (44% do conjunto) na cota média de 75 m, com frequência nas bordas das matas onde predominam os maricazais e butiazais (espécies com altura entre 1,50 m e 5,00 m) em planícies úmidas e nos campos de altitude (Nabinger et al., 2019), (Hasenack et al., 2008, p. 63), (Marchi et al., 2018). As florestas predominam na Boa Vista do Sul (34% do conjunto) e Restinga (33% do conjunto) na cota média de 75,00 m através das matas altas com influência da *Floresta Ombrófila Densa* (Hasenack et al., 2008, p. 59) característico do bioma Mata Atlântica que possuem correlação entre altitude e insolação (Amorim et al., 2019), cuja área tem sido reduzida ao longo dos anos em todo o Brasil.

Tabela 6. Áreas (hectare)

| Belém Velho | Restinga | Lageado | Boa Vista do Sul | Total |
|-------------|----------|---------|------------------|-------|
|-------------|----------|---------|------------------|-------|

| | | | | | |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------------|
| Urbano | 155,10 (15%) | 607,98 (58%) | 131,54 (12%) | 154,19 (15%) | 1048,81 (100%) |
| Gramíneas | 145,70 (7%) | 426,21 (21%) | 555,47 (28%) | 880,42 (44%) | 2007,80 (100%) |
| Arbustivos | 230,32 (13%) | 395,77 (22%) | 369,44 (21%) | 799,01 (44%) | 1794,54 (100%) |
| Florestas | 520,46 (10%) | 1759,97 (33%) | 1218,64 (23%) | 1841,02 (34%) | 5340,09 (100%) |
| Total | 1051,60 (10%) | 3189,93 (31%) | 2275,09 (23%) | 3674,64 (36%) | 10191,24 (100%) |

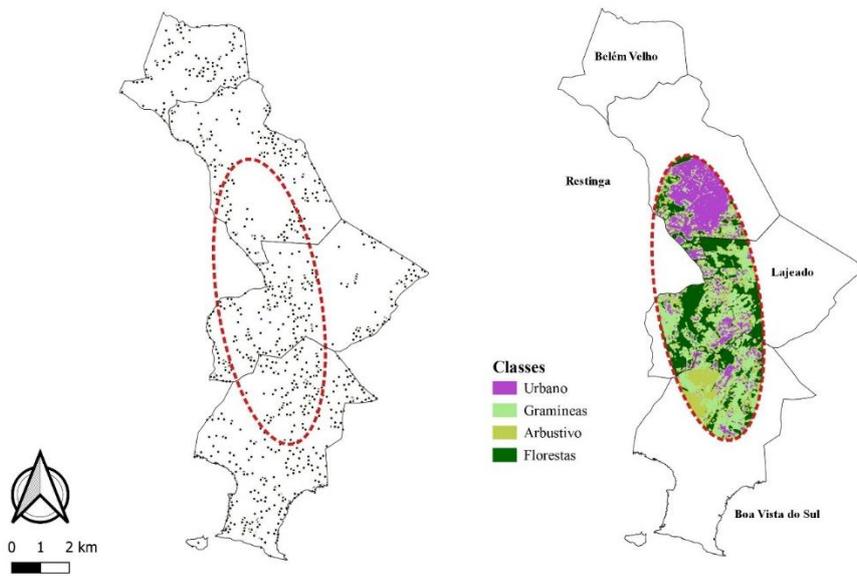


Figura 5. Elipse de Dispersão Espacial das florestas

Considerando os centroides dos polígonos da classe florestal (Figura 5) a classificação mostra que a urbanização no interior da elipse representa 22,64% e 8,71% fora dela. As gramíneas são 29,01% dentro e 24,00% fora. Os arbustivos mantêm a mesma proximidade de frequência em torno de 22% e as florestas representam 25,83% dentro e 44,43% fora dela (Tabela 7).

Conforme Tabelas 7 e 8, a Elipse de Dispersão mostra que o bairro Restinga (grande vetor de urbanização na região) se situa no eixo de tendência das florestas dentro do polígono, mas

também há contribuições de núcleos urbanos nos bairros Lageado e Boa Vista do Sul. Dentre as classes analisadas, a urbanização localiza-se nos relevos mais planos e geralmente associados aos solos sedimentares de banhados em áreas de amortecimento de cursos de água e com maior proximidade média das gramíneas. As florestas confirmam a presença nas maiores altitudes associadas à presença da classe arbustiva principalmente nas suas bordas.

Tabela 7. Porcentagem das classes na Elipse de Dispersão e no restante da área de estudo (hectare).

| | Elipse Dispersão | Fora da elipse |
|------------------|------------------|-------------------|
| Urbano | 575,35 (22,64%) | 451,33 (8,71%) |
| Gramíneas | 736,80 (29,01%) | 1.242,77 (24,00%) |

| | | |
|-------------------|-----------------|-------------------|
| Arbustivos | 571,98 (22,52%) | 1.184,58 (22,86%) |
| Florestas | 656,30 (25,83%) | 2.302,36 (44,43%) |
| Total | 2540,43 (100%) | 5.181,04 (100%) |

Tabela 8. Altimetria da Elipse de Dispersão Espacial

| | Urbano | Gramíneas | Arbustivo | Florestas |
|----------------------|---------------|------------------|------------------|------------------|
| <i>Média</i> | 37,58 | 41,68 | 43,67 | 48,25 |
| <i>Mediana</i> | 30,00 | 40,00 | 40,00 | 40,00 |
| <i>Desvio Padrão</i> | 16,90 | 19,39 | 21,06 | 30,19 |
| <i>Mínimo</i> | 10,00 | 10,00 | 10,00 | 20,00 |
| <i>Máximo</i> | 90,00 | 130,00 | 130,00 | 190,00 |
| <i>Maioria</i> | 20,00 | 30,00 | 40,00 | 30,00 |
| <i>Minoria</i> | 90,00 | 100,00 | 10,00 | 100,00 |

A ocupação dos relevos mais planos é uma diretriz da própria Lei de parcelamento do solo urbano (Brasil, 1979) que orienta a implantação de loteamentos nos terrenos com declividade de até 30%, o que ocasiona muitas vezes na ocupação das áreas de amortecimento de cursos de água com a consequente necessidade de complexa infraestrutura de drenagem nas menores cotas (principalmente em decorrência da alta intensidade do regime de chuvas nos dias atuais). Esta diretriz também está relacionada a deposição de sedimentos nas cotas mais baixas do relevo (Silva et al., 2019) ocasionando o assoreamento de cursos de água e reservatórios (Mathias et al., 2020). Neste sentido ainda, Porto Alegre é muito dependente dos diques que protegem a cidade e do bombeamento mecânico das águas pluviais em chuvas intensas.

Os três bairros (Restinga, Lageado e Boas Vista do Sul) possuem grande representatividade de florestas na elipse (25,83 %), entretanto esta classe é menor em comparação com as florestas fora da elipse (44,43 %). Neste recorte, as florestas estão na maior cota média (48,25 m) em altitudes que variam de 20,00 a 190,00 m, as gramíneas ocorrem na cota média 41,68 m (variando entre 10,00 e 130,00 m) nas menores declividades. Os arbustivos (cota média de 43,67 m) situam entre 10,00 e 130,00 m (Tabela 8).

A comparação do percentual de cada classe sugere que a urbanização no interior da elipse bem provavelmente afetou todas as três classes naturais

(gramíneas, arbustivos e florestas), entretanto, deve ter sido mais intenso no território dos campos nativos que é composto predominantemente pelas gramíneas e espécies arbustivas (são mais de 400 espécies no sul do Brasil) que abrigam grande biodiversidade (Nabinger et al., 2019, p. 7).

O Monitoramento realizado pela *Fundação SOS Mata Atlântica* em 2020 indica que a urbanização e a agropecuária tem sido os responsáveis pela redução das vegetações herbáceas nas Restingas do bioma Pampa no Rio Grande do Sul (Atlântica, 2021, p. 59). O bioma Mata Atlântica também sofre com o desmatamento descontrolado que isola fragmentos cuja fragilidade das suas bordas (sujeitas à ação de microrganismos estranhos ao ambiente e da poluição ambiental) diminuem a qualidade sanitária destas áreas verdes (Marchesan et al., 2019).

O Plano Diretor (Porto Alegre, 1999) classifica os bairros da área de estudo na Macrozona 8 (*Cidade Rururbana*) caracterizada pela predominância do patrimônio natural, o uso residencial e a atividade produtiva primária. Estes bairros que são regiões produtoras de hortifrutigranjeiros para abastecimento na cidade de Porto Alegre também abrigam importante patrimônio arqueológico e cultural que tem atraído o interesse do investimento imobiliário e tem acarretado discussões sobre a política adequada de uso e ocupação do solo na região (Possamai et al., 2021).

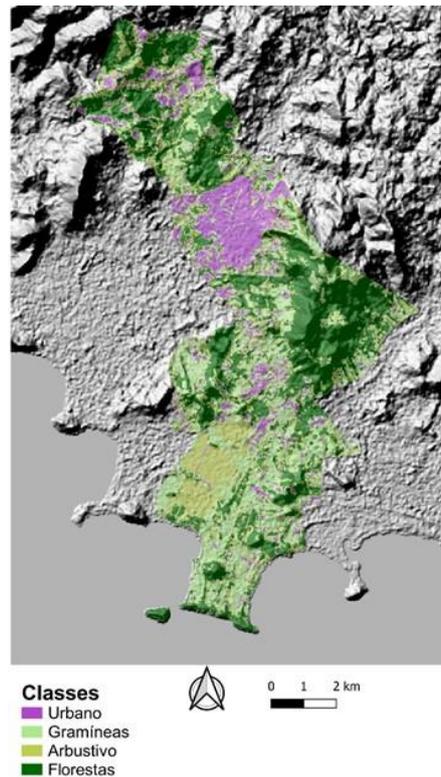


Figura 6. Projeção das classes em relação ao relevo

Conclusão

Os dados mostram que a urbanização na área de estudo ocorreu predominantemente nos relevos mais planos e nas menores altitudes na qual, de alguma forma, todas as classes vegetais estudadas (gramíneas, arbustivas e florestais) sofreram impacto e perda de territórios. Entretanto, os resultados confirmam a hipótese do trabalho e sugerem que a urbanização pode ter sido mais intensa na vegetação característica dos campos nativos do que nas florestas remanescentes do bioma Mata Atlântica nos relevos mais altos.

O trabalho mostra a viabilidade da utilização da classificação de imagens e da *Elipse de Dispersão Espacial* na identificação de tendência de ocorrência de estratos vegetais e os possíveis vetores que ocasionam a ruptura destes ambientes. O *Modelo Digital de Elevação* mostrou-se uma ferramenta importante de auxílio na análise espacial visto que a desconsideração dos efeitos da altitude do relevo sobre a classificação de imagens de Satélite pode conduzir a resultados equivocados na compreensão dos fenômenos.

Sendo um dos objetivos da Trama Verde-Azul a identificação das causas que acarretam a fragmentação das paisagens. O método mostra-se útil como ferramenta de apoio ao Planejamento Urbano e Ambiental na adoção de estratégias e ações de gestão do uso do solo, essenciais no contexto atual de mudanças climáticas. Também é importante salientar a importância ambiental dos campos nativos do bioma Pampa do sul do Brasil que abrigam grande biodiversidade e há muito tempo sofrem principalmente com os danos causados pela urbanização e as atividades agropastoris.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Territorial (PROPUR) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) pelo suporte técnico e operacional.

Referências

- Alegre, P. M. (1º de dezembro de 1999). Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental (PDDUA). *Lei nº 434 de 01 de dezembro de 1999*. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.
- Alegre, P. M. (2020). Porto Alegre tem tradição em Planejamento. Acesso em 13 de fevereiro de

- 2022, disponível em Urbanismo: http://www2.portoalegre.rs.gov.br/spm/default.php?p_secao=125
- Alves, J. D., D'Antona, A. (2020). Dispersão e fragmentação urbana: uma análise espacial com base na distribuição da população. *Revista Brasileira de Cartografia*, 126-141. Fonte: <https://doi.org/10.14393/rbcv72n1-49504>.
- Amorim, A. T., Souza, J. P., Lourenço, R. W. (julho de 2019). Indicador dos Estágios de Sucessão de Fragmentos Florestais do Bioma Mata Atlântica. *Revista Brasileira de Cartografia*, 71, pp. 756-780. Fonte: <https://doi.org/10.14393/rbcv71n3-48546>.
- Andrade, L. C., Rodrigues, L. R., Andrezza, R., Camargo, F. A. (janeiro-fevereiro de 2019). Lago Guaíba: uma análise histórico-cultural da poluição hídrica em Porto Alegre, RS, Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 24, 229-237. Fonte: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019155281>.
- Araújo, N. P. (2019). Vilas de Malocas e Bairro Restinga: a versão dos removidos sobre o plano de confinamento em vila de transição Porto Alegre de 1967-1970. Em A. B. al, *Comunicações do III Encontro Discente de História da UFRGS* (pp. 77-87). Fi. Fonte: <https://www.editorafi.org/563historia>.
- Atlântica, F. S. (2021). *Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica - Período 2019-2020*. São Paulo.
- Brasil. (19 de dezembro de 1979). Lei de Parcelamento do Solo Urbano. Brasil.
- Breiman, L., Friedman, J. H., Olshen, R. A., Stone, C. J. (1984). *Classification and regression trees*. Boca Raton, Flórida, Estados Unidos: CRC Press.
- Costa, A. d., Galvão, A., Silva, L. G. (2019). Mata Atlântica brasileira: Análise do efeito de borda em Fragmentos florestais remanescentes de em Hotspot para conservação da biodiversidade. *Geografia e Meio Ambiente - GEOMAE*, 10, 112-123. Fonte: <http://dx.doi.org/10.17605/OSF.IO/8GS9Y>.
- Ebdon, D. (1985). *Statistic in Geography* (2ª ed.). Oxford, Reino Unido: Basil Blackwell Ltd.
- França. (03 de outubro de 2009). Lei nº 967. Implementação do Grenelle de l'environnemen.
- Gomes, D. F., Schwartzman, L. F., Fonseca, E. L., Saldanha, D. L. (maio de 2020). Identificação e mapeamento de unidades homogêneas do bioma Pampa utilizando imagens Sentinel-2 no Complexo Eólico Cerro Chato, Santana do Livramento, RS. *Brazilian Journal of Development*, 6, pp. 29497-29506. Fonte: <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n5-414>.
- Hasenack, H., Weber, E. J., Marcuzzo, S., & Philipp, R. P. (março, 2008). *Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre (Vol. I)*. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil: Prefeitura Municipal de Porto Alegre.
- Landis, R., Koch, G. G. (março de 1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. (I. B. Society, Ed.) 33, pp. 159-174.
- Lawrence, A., Friedrich, F., Beierkuhnlein, C. (21 de outubro de 2021). Landscape fragmentation of the Natura 2000 network and its surrounding areas. *Plos One*, 1-22. Fonte: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0258615>.
- Marchesan, J., Alba, E., Pereira, R. S., Viera, V. (2019). Mapeamento da Fragilidade Ambiental em Áreas do Bioma Mata Atlântica: Utilização de Geotecnologias Aplicadas ao Rio Grande do Sul. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, 42, pp. 586-598. Fonte: https://doi.org/10.11137/2019_586_586_598
- Mata Atlântica, S. (2022). *SOS Mata Atlântica*. Acesso em 07 de agosto de 2022, disponível em [Conheça nossas causas: https://www.sosma.org.br/](https://www.sosma.org.br/).
- Mathias, D. T., Lupinacci, C. M., Nunes, J. O. (28 de fevereiro de 2020). Identificação dos fluxos de escoamento superficial em área de relevo tecnogênico a partir do uso de modelos hidrológicos em SIG. *Sociedade & Natureza*, 32, 820-831. Fonte: <https://doi.org/10.14393/SN-v32-2020-49431>.
- Menegat, R., Porto, M. L., Carraro, C. C., Fernandes, L. L. (1998). *Atlas Ambiental de Porto Alegre*. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Menge, V. P., Freitas, M. W., Silva, T. S., Fontana, D. C., Scottá, F. C. (05 de outubro de 2020). Land-use and land-cover change

- processes in Pampa biome and relation with environmental and socioeconomic data. *Applied Geography*, 125, 1-12. Fonte: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102342>.
- Moreno, R., Ojeda, N., Azócar, J., Venegas, C., Inostroza, L. (2020). Application of NDVI for identify potentiality of the urban forest for the design of a green corridors system in intermediary cities of Latin America: Case study, Temuco, Chile. *Urban Forestry & Urban Greening*, 55, 2-8. Fonte: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126821>.
- Mutanga, O., Kumar, L. (12 de março de 2019). Google Earth Engine Applications. *Remote Sensing*, 5, 1-4. Fonte: <https://doi.org/10.3390/rs11050591>.
- Nabinger, C., Agnol, M. D. (2019). Guia para reconhecimento de espécies dos campos sulinos. Brasília, Distrito Federal, Brasil: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA.
- Neto, P. d., Veról, A. P., Veról, A. P., Vazquez, E. G. (10 de outubro de 2019). Sistemas de drenagem urbana sustentáveis no mundo e no Brasil. *Brazilian Journal of Development*, 5, 18743-18759. Fonte: <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv5n10-119>.
- ObservaPOA. (03 de março de 2022). Observatório da Cidade de Porto Alegre. Acesso em 03 de março de 2022, disponível em Prefeitura Municipal de Porto Alegre: http://observapoa.com.br/default.php?reg=259&p_secao=46.
- Peruzzo, J. S., Pereira, M. C., Silva, L. D., Oliveira, B. S., Silvino, G. d. (2019). Sensoriamento remoto aplicado ao monitoramento ambiental da bacia do Alto Piranhas, Semiárido Nordeste (Brasil). *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, 7, 28-37. Fonte: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3575259>.
- Possamai, R. M., Tocchetto, F. B. (23 de novembro de 2021). O Sítio da Fazenda do Arado, seus patrimônios e sua importância cultural para Porto Alegre (RS) e região. *Labor & Engenho*, 15, 1-18. Fonte: <https://doi.org/10.20396/labore.v15i00.8665926>.
- Ressources, C. d. (2022). Trame Verte et Bleue - Centre de ressources. Acesso em 06 de abril de 2022, disponível em <http://www.trameverteetbleue.fr/qui-sommes-nous/centre-ressources-trame-verte-bleue>
- Ribeirinha, P. D., Silva, S. M., Sapienza, J. A., Netto, S. O. (22 de maio de 2021). Classificação orientada a objeto aplicada à caracterização de áreas de restinga: Caso da Praia do Peró, Cabo Frio (Rio de Janeiro). *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, 2, pp. 60-78. Fonte: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5548257>.
- Silva, É. C., Dias, M. B., Nunes, J. O., Oliveira, A. M., Oliveira, A. A. (2019). A urbanização do oeste paulista e a formação de feições tecnogênicas. *Revista do Instituto Geológico*, 40, 67-81. Fonte: <https://doi.org/10.33958/revig.v40i1.629>.
- Thiago, C. R., Magalhães, I. A., Santos, A. R. (01 de março de 2020). Identificação de Fragmentos Florestais Potenciais para a delimitação de Corredores Ecológicos na bacia hidrográfica do Rio Itapemirim, ES por meio técnicas de Sensoriamento Remoto. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13, 595-612. Fonte: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.2.p595-612>.