

ANÁLISE TEMPORAL DE MUDANÇAS NO ECOSISTEMA DE DUNAS DO DISTRITO DE QUINTÃO, PALMARES DO SUL - RS

A TEMPORAL ANALYSIS OF CHANGES IN THE DUNE ECOSYSTEM OF QUINTÃO DISTRICT, PALMARES DO SUL - RS

Filipe Aguiar ROCHA, Giuliana Andréia SFREDDO, Tatiana Silva da SILVA

Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Avenida Bento Gonçalves, 9500 - Agronomia, Porto Alegre – RS.

E-mail: filipe.aguiarrocha1998@gmail.com, giulianaasfreddo@gmail.com, tatiana.silva@ufrgs.br

Introdução
Material e métodos
 Área de estudo
 Conjunto de dados e processamento
 Classificação das imagens
 Acurácia
Resultados e discussões
Conclusões
Referências

RESUMO - As áreas costeiras, sujeitas a mudanças constantes devido a ações erosivas, deposicionais e antrópicas, enfrentam desafios físicos e ecossistêmicos significativos. A mudança do uso e cobertura do solo amplia a perda de habitats cruciais, como dunas, essenciais para serviços ecossistêmicos de proteção costeira. O presente trabalho tem por objetivo realizar uma análise temporal de mudanças no ecossistema de dunas do distrito de Quintão. Para isso, foram selecionadas imagens Landsat de diferentes períodos e analisadas as mudanças obtidas através da classificação semi automática das imagens. A partir da classificação, os dados foram inseridos no modelo Land Change Modeler no software TerrSet 2020 onde foram elaborados os mapas de transição, de mudança e de persistência das classes ao longo do período de análise. Os resultados obtidos indicam um aumento de 993% na área urbana no distrito. Já as áreas de dunas apresentaram uma diminuição em sua área de 34,45%. Diante das alterações ambientais identificadas decorrentes do crescimento urbano, propõe-se a implementação de um monitoramento contínuo da supressão de ambientes naturais em Quintão. Essa medida visa não apenas à preservação das dunas como parte fundamental do ecossistema costeiro, mas também a mitigação dos impactos negativos associados ao avanço urbano desordenado.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Impactos da urbanização. Proteção costeira.

ABSTRACT - Coastal areas, subject to constant changes due to erosive, depositional, and anthropic actions, face significant physical and ecosystem challenges. The change in land use and coverage exacerbates the loss of crucial habitats, such as dunes, essential for coastal protection ecosystem services. The aim of this study is to conduct a temporal analysis of changes in the dune ecosystem in the Quintão district. To achieve this, Landsat images from different periods were selected, and changes were analyzed through the semi-automatic classification of the images. Following the classification, the data were input into the Land Change Modeler in the TerrSet 2020 software, where transition, change, and persistence maps of the classes were developed over the analysis period. The results indicate a 993% increase in urban area in the district. Conversely, dune areas experienced a decrease in their extent by 34.45%. Given the identified environmental changes resulting from urban growth, the continuous monitoring of the suppression of natural environments in Quintão is proposed. This measure aims not only at preserving dunes as a fundamental part of the coastal ecosystem but also at mitigating the negative impacts associated with disordered urban advancement.

Keywords: Climate change. Urbanization impacts. Coastal protection.

INTRODUÇÃO

As áreas costeiras são ambientes extremamente sensíveis, sujeitas a mudanças constantes devido às ações erosivas e deposicionais de sedimentos, representando desafios tanto do ponto de vista físico quanto ecossistêmico. A pressão antrópica sobre esses ambientes amplifica a perda de habitats importantes, como as dunas, desempenhando um papel fundamental na oferta de serviços ecossistêmicos essenciais para a proteção das zonas costeiras (Alexandrakis et al., 2015; Landry et al., 2020).

Simultaneamente, a modificação global na ocupação e cobertura do solo ao longo das últimas décadas tem gerado impactos diretos na

disponibilidade desses serviços ecossistêmicos. Compreender a dinâmica dessas transformações ao longo de períodos extensos torna-se crucial para promover a gestão sustentável dos recursos naturais. No contexto específico da zona costeira do Rio Grande do Sul, estudos como os de Silva & Tagliani (2010), Grabski et al. (2015), Sfredo & Tagliani (2016), e Lipp-Nissinen et al. (2018) têm detalhado os ciclos de uso do espaço em diferentes regiões, correlacionando esses ciclos ao crescimento populacional com as modificações no uso e cobertura da terra, destacando mudanças significativas em todas as áreas investigadas.

Em 2010, o Censo Demográfico registrou que

mais de 50 milhões de habitantes vivem nos municípios da zona costeira, representando 26,58% da população brasileira (IBGE, 2011). O aumento histórico da população nessas áreas gera crescente pressão sobre os ambientes naturais (Moraes, 1999; Reis et al., 2002; Barragán & Andrés, 2015).

Nesse sentido, Scherer et al. (2010) identificaram problemas que ocorrem na costa brasileira, relacionados ao tema investigado, como ocupação desordenada do solo e exploração de recursos naturais, resultando em impactos como a diminuição da biodiversidade, contaminação hídrica e erosão costeira. No âmbito socioeconômico, esses impactos envolvem perdas humanas e materiais, ligadas a desastres causados por ocupações em áreas de risco e falta de saneamento adequado. Em meio a essas questões, os ecossistemas costeiros oferecem serviços ecossistêmicos essenciais, como as dunas, que atuam como barreiras naturais de proteção contra a erosão costeira.

Inseridos nessa conjuntura, os ecossistemas costeiros proporcionam benefícios para o meio ambiente e a população, denominados serviços ecossistêmicos. Segundo Daily (1997), esses serviços referem-se às condições e processos pelos quais os ecossistemas naturais, juntamente com as espécies que os compõem, sustentam e satisfazem a vida humana. Um exemplo claro desses serviços é o papel desempenhado pelas dunas, que constituem barreiras naturais de proteção contra o avanço do mar e processos de

erosão costeira, além de reduzirem a exposição da população residente próxima à costa a eventos de inundação.

No entanto, esses ecossistemas costeiros estão enfrentando ameaças significativas, incluindo a ocupação urbana desordenada que muitas vezes ocorre sobre as dunas. A falta de planejamento de infraestrutura urbana e a consequente drenagem ineficiente são fatores que contribuem para o surgimento de sangradouros na costa. Os sangradouros presentes na Zona Costeira do Rio Grande do Sul interrompem a continuidade dos cordões de dunas, influenciando diretamente na redução das dunas frontais e auxiliando no aumento da exposição da costa a eventos de inundação.

É importante observar que a presença de sangradouros é mais comum no litoral sul do Brasil do que em outras regiões costeiras ao redor do mundo, conforme destacado por Calliari & Figueiredo (2005). Além disso, segundo Calliari & Figueiredo (2005), "o aumento do número de sangradouros nas áreas urbanas pode acarretar déficit sedimentar praias e erosão costeira, considerando o maior transporte de sedimentos para a zona de arrebentação". Neste sentido, o presente estudo tem como objetivo realizar uma análise temporal de mudanças no ecossistema de dunas do Distrito de Quintão-RS, buscando compreender a dinâmica de alteração e os processos que contribuem para a redução dos ecossistemas de dunas.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo compreende o distrito costeiro de Quintão, município de Palmares do Sul, situado no litoral médio do Rio Grande do Sul (Figura 1). O distrito de Quintão possui uma área de 141,17 km² e está situado na bacia hidrográfica do Tramandaí. O distrito faz parte da unidade geológica denominada "coberturas eólicas holocênicas", caracterizada pela presença de dunas (Ramgrab et al., 2004).

Quanto ao clima, de acordo com Rossato (2011), na região do Litoral Médio, ele é classificado como subtropical II, com maior influência de sistemas polares e interferência tropical marítima, apresentando uma temperatura média anual variando entre 17 e 20°C.

A população estimada na área total do distrito de Quintão é de 3069 habitantes, conforme o último censo disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2012).

Conjunto de dados e processamento

Como dado base, optou-se pelo uso da série de satélites Landsat, devido à sua extensa série histórica, possibilitando uma análise temporal das mudanças ocorridas desde a década de 80. Neste caso, a resolução temporal foi priorizada em detrimento da resolução espacial, uma vez que o objetivo principal é avaliar a dinâmica do sistema. As informações das imagens escolhidas são apresentadas na tabela 1.

No software ArcMap 10.6.1, foi efetuada a composição de bandas espectrais para cada um dos anos de análise, possibilitando uma melhor identificação dos alvos e, conseqüentemente, aprimorando a qualidade do processo de classificação das imagens e identificação das classes (conforme exemplificado na Figura 2).

Essa etapa de composição de bandas visou otimizar a interpretação visual e a análise quantitativa, contribuindo para uma abordagem

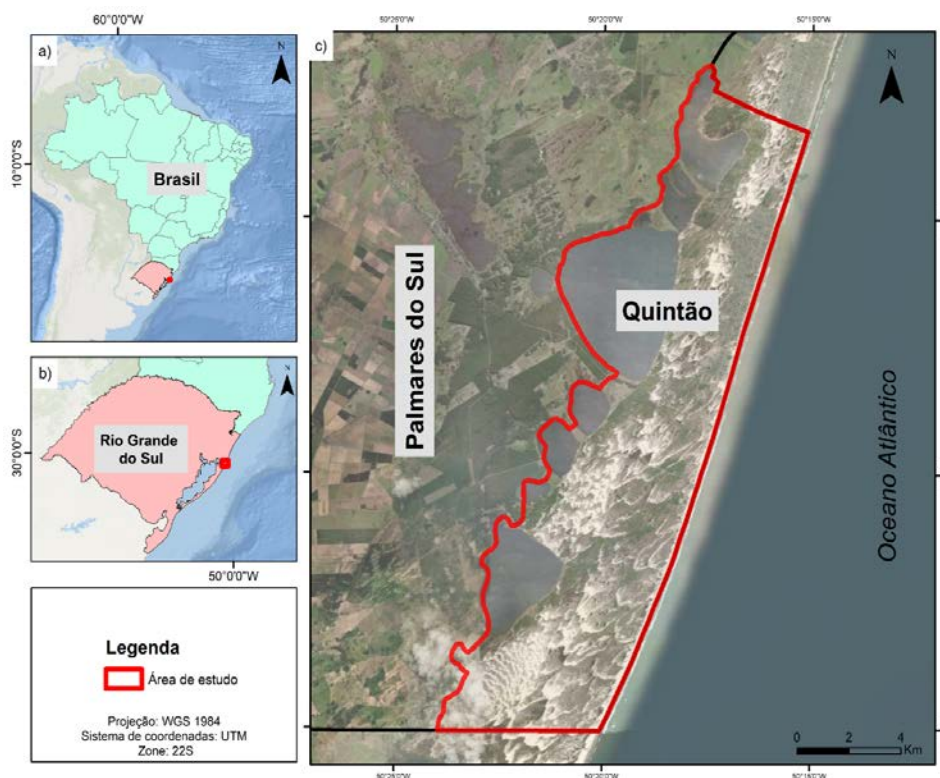


Figura 1 - a) Sul do Brasil, b) Estado do Rio Grande do Sul e c) Localização da área de estudo no município de Palmares do Sul.

Tabela 1 - Imagens de satélites utilizados.

| Satélite | Órbita/Ponto | Data |
|-----------|--------------|------------|
| Landsat-5 | 220/081 | 30/01/1985 |
| Landsat-5 | 220/081 | 28/01/1990 |
| Landsat-5 | 220/081 | 07/09/1995 |
| Landsat-7 | 220/081 | 20/03/2000 |
| Landsat-5 | 220/081 | 06/02/2005 |
| Landsat-5 | 220/081 | 09/04/2010 |
| Landsat-8 | 220/081 | 09/05/2015 |
| Landsat-9 | 220/081 | 12/01/2022 |

mais robusta na caracterização das mudanças no ecossistema de dunas ao longo do período estudado.

Além disso, foram elaborados cálculos de bandas espectrais a fim de obter índices para melhor identificação das classes como o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada). Este índice proporciona uma compreensão

mais aprofundada da cobertura vegetal, apresentando dados que variam de -1 a +1. Nessa escala, o valor -1 indica a completa ausência de vegetação, enquanto o valor +1 indica a presença máxima de vegetação. Este índice é muito utilizado para a análise quantitativa e qualitativa da vegetação em diferentes áreas.

O NDVI é obtido através da fórmula:

$$\frac{\text{Infravermelho próximo} - \text{Vermelho}}{\text{Infravermelho próximo} + \text{Vermelho}}$$

As diferentes composições espectrais e o NDVI auxiliaram no processo de identificação das classes de interesse e na classificação das imagens.

Classificação das imagens

A classificação das imagens foi realizada por meio do software de SIG QGIS 3.30.3. O método de classificação escolhido corresponde à abordagem semi-automática utilizando o plugin Dzetsaka.

Esse plugin possibilita uma classificação ágil e concede ao operador a capacidade de selecionar amostras, bem como escolher o método de classificação. Para esta análise, optou-se pelo método de classificação Gaussian Mixture Model, o qual permite modelar distribuições de probabilidade complexas e multimodais. Esse método de classificação é amplamente utilizado para a classificação de imagens. Para cada uma

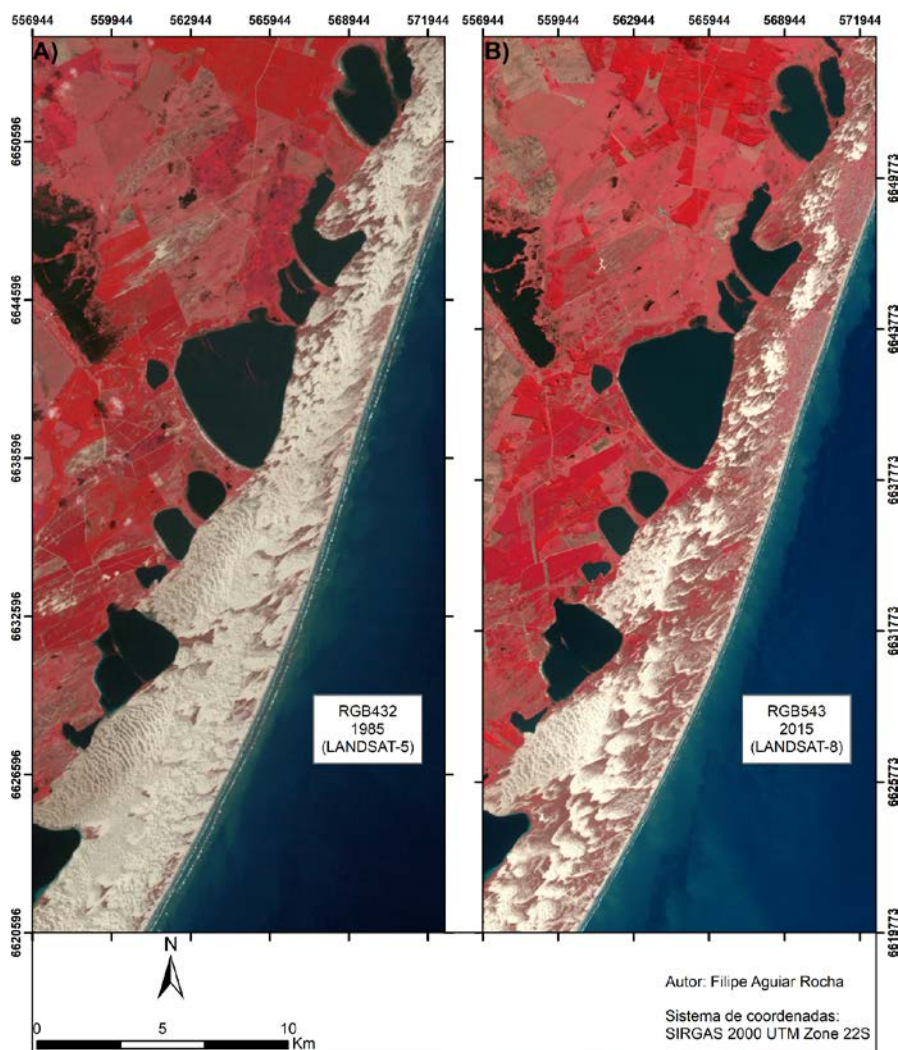


Figura 2 - Composições realizadas para o ano 1985 (A) e 2022 (B).

das imagens, foram gerados polígonos de amostras, correspondentes a cada uma das classes observadas, conforme definido pela

chave de interpretação. A média dos polígonos, tamanho e número de pixels podem ser observados na tabela 2.

Tabela 2 – Polígonos de Amostras




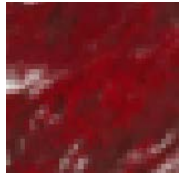
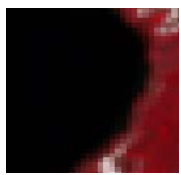
| Classe | Polígonos | Tamanho médio (m ²) / N ^o de pixels |
|----------------------|-----------|--|
| Corpo Hídrico | 31 | 38.390 / 1314 |
| Duna | 35 | 34.030 / 1332 |
| Outra classe | 47 | 19.837 / 1027 |
| Silvicultura | 25 | 1.381 / 37 |
| Urbano | 30 | 9.059 / 605 |

A chave de interpretação inclui informações sobre cor, tonalidade, textura e formas das classes presentes na superfície (conforme Tabela 3). As classes identificadas abrangem a classe Duna; classe Urbana, que representa áreas urbanas com construções e instalações; a classe Silvicultura, que corresponde a áreas com plantações de árvores como pinus e eucalipto; e a classe Outras Classes, que engloba áreas com solo exposto, vegetação rasteira ou não vegetada.

Além disso, corpos hídricos também foram classificados.

Após a classificação, os dados obtidos em formato raster, no software Arcmap 10.6.1, passaram pelo processo de transformação de raster para polígono e posteriormente cada uma das imagens geradas passou pelo processo de ajustes das classes através da utilização das composições coloridas, apoiadas em imagens de melhor resolução espacial como as do Google Earth Pro.

Tabela 3 - Chave de interpretação

| RGB(543) Landsat-9 | Interpretação | Cor Tonalidade | Elementos de Interpretação | Descrição |
|---|------------------|------------------------------|--------------------------------------|--|
|  | Duna | Branco, Bege | Textura rugosa | Área de Dunas |
|  | Urbano | vermelho claro com cinza. | Textura rugosa, forma regular | Área com construções e domicílios |
|  | Silvicultura | Vermelho escuro | Textura rugosa e forma regular | Área com presença de vegetação plantada |
|  | Outra classe | Vermelho claro | Textura lisa e forma irregular | Área sem presença de vegetação ou com solo exposto ou com presença de vegetação rasteira. |
|  | Corpo Hídrico | Cinza escuro ou preto | Textura lisa e forma irregular | Corpo d'água continental |

Após a classificação, os dados obtidos em formato raster, no software Arcmap 10.6.1, passaram pelo processo de transformação de raster para polígono e posteriormente cada uma das imagens geradas passou pelo processo de ajustes das classes através da utilização das composições coloridas, apoiadas em imagens de melhor resolução espacial como as do Google Earth Pro.

Nesta etapa a classificação inicial passou pelo processo de refinamento por fotointerpretação, como reclassificação de polígonos, erroneamente classificados no processo semi-automático assim como ajuste dos vértices. O pós-processamento das imagens classificadas, se mostra importante devido às variações de tonalidades das classes presentes nas zonas costeiras.

O mesmo tipo de solo quando alagado, ou seco, apresentam respostas espectrais diferentes, muitas vezes passando a ser classificado de forma errônea, neste sentido, realizou-se o ajuste das classes.

Posteriormente realizou-se o recorte de aná-

lise para uma distância de 600 metros da linha de costa em direção ao continente, nesta etapa, foi gerado um buffer de 600m no software Arcmap 10.6.1, a partir da linha de costa e extraídas as informações referentes a esta área.

Optou-se por esse recorte, principalmente, para analisar localmente os efeitos das mudanças especialmente nas dunas frontais, aquelas nas quais estão mais próximas da linha de costa e efetivamente, promovem a proteção da população residente frente aos efeitos das mudanças climáticas, como a maior ocorrência de eventos extremos.

A análise das mudanças deu-se através do modelo de mudança de cobertura e uso da terra, *Land Change Modeler* (LCM) do software TerrSet que permite uma análise detalhada e sistemática das transformações na cobertura e uso do solo ao longo do tempo.

Os dados resultantes da classificação foram integrados ao modelo LCM com o propósito de identificar alterações nas classes de interesse. Nesse processo, atribuíram-se valores de 0 às

classes não selecionadas, enquanto valores distintos de zero foram atribuídos às classes escolhidas. Dessa forma, foram priorizadas as classes antrópicas presentes na área de estudo, abrangendo as categorias urbano e silvicultura, além da classe referente às dunas.

Acurácia

Através do software Google Earth Pro foram coletados pontos de referência para cada classe identificada e após a coleta, os dados em formato kml foram carregados no software ArcGis 10.6.1.

No total, foram coletados 235 pontos, sendo distribuídos conforme a seguinte seleção: 75 pontos para a classe Duna, 65 para a classe Outra Classe, 45 para a classe Corpo Hídrico, 50 para a

classe Urbano e 35 para a classe Silvicultura. Essa variação no número de pontos reflete o tamanho e a distribuição específica de cada classe na área de estudo.

Em etapa subsequente, no software ArcGIS 10.6.1, foram executados os procedimentos para avaliar a acurácia da classificação. Isso envolveu a extração dos dados da classificação para os pontos de referência coletados, utilizando a ferramenta Extract Values to Point.

Em seguida, foram obtidos dados de frequência e elaboradas tabelas de Matriz de Confusão, permitindo, por fim, o cálculo da acurácia global e do índice kappa. A distribuição dos pontos estão ilustrados na Figura 3.

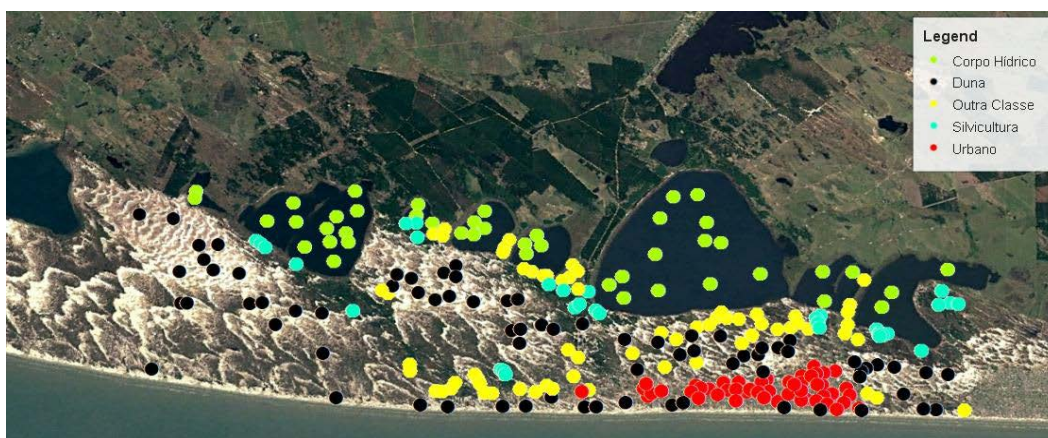


Figura 3 – Distribuição de pontos de referência.

No que se refere à acurácia dos dados, os resultados que se encontram enumerados na tabela 4 demonstram uma acurácia global de

91,11%, com um índice kappa de 0,885. De acordo com Fonseca (2000), esse índice kappa é considerado excelente.

Tabela 4 – Matriz de confusão

| CLASSES | Duna | Corpo Hídrico | Outra Classe | Silvicultura | Urbano | TOTAL |
|--------------------|--------|---------------|--------------|--------------|--------|-------|
| Duna | 74 | 1 | 1 | 0 | 6 | 82 |
| Corpo Hídrico | 0 | 44 | 0 | 0 | 0 | 44 |
| Outra Classe | 0 | 0 | 64 | 14 | 1 | 79 |
| Silvicultura | 0 | 0 | 0 | 21 | 0 | 21 |
| Urbano | 1 | 0 | 0 | 0 | 43 | 44 |
| TOTAL | 75 | 45 | 65 | 35 | 50 | 270 |
| Acurácia Global | 91,11% | | | | | |
| Coefficiente Kappa | 0,885 | | | | | |

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos indicam um aumento de 993% da classe Urbano ao longo do período de análise, passando de 0,56 km² em 1985 onde representava 0,4% da área total para 6,12 km² em 2022 passando a representar 4,33% da área total, representando um aumento médio de 0,106% ao ano. Em relação a classe Dunas foi possível observar uma redução de 34,45% em todo período da análise, com uma redução média de 1,29% ao ano, passando de 89,02km² em 1985 onde representava 63,06% da área total, para 58,34km² em

2022 passando a representar 41,33% da área total. Parte das modificações possuem causas naturais, como o regime de ventos e o deslocamento de dunas móveis, enquanto outra parcela responsável pelo decréscimo desse ecossistema é a sua substituição por outras classes através das atividades antrópicas como a urbanização e atividades de silvicultura. A classe Outras Classes, composta então por áreas não vegetadas, solo exposto e vegetação rasteira apresentou um aumento de 220% (Tabela 5).

Tabela 5 - Diferenciação entre as classes (Total)

| Classe | 1985 | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2022 | 1985 /2022 |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
| Urbano | 0,56 | 1,24 | 1,68 | 3,61 | 4,31 | 5,42 | 5,79 | 6,12 | +993% |
| Silvicultura | / | / | 0,66 | 0,42 | 0,51 | 0,92 | 1,29 | 1,00 | / |
| Outra Classe | 12,09 | 16,80 | 14,50 | 19,04 | 21,42 | 23,10 | 36,97 | 38,71 | +220% |
| Duna | 89,02 | 86,29 | 82,64 | 81,02 | 77,38 | 70,59 | 58,98 | 58,34 | -34,45% |

Ao examinar o gráfico de mudanças do LCM (Figura 4), é possível observar tanto as perdas quanto os ganhos em km² nas diferentes classes ao longo do período de análise. Destaca-se uma redução expressiva na extensão das dunas, indicando uma perda significativa desse ecossistema ao longo do tempo. Paralelamente, observa-se um notável aumento na área urbana, apontando para uma expansão substancial das zonas urba-

nizadas durante o mesmo período. Essa análise de perdas e ganhos oferece uma perspectiva abrangente sobre as transformações na cobertura do solo, sendo crucial para compreender as dinâmicas e os impactos das atividades humanas na região estudada. Os mapas de classes resultantes da classificação (Figura 5) ilustram as alterações que ocorreram ao longo do período de análise.

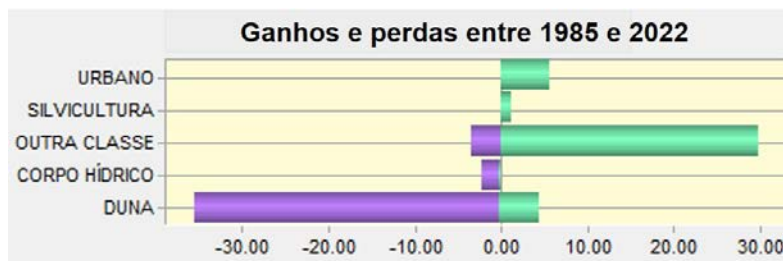


Figura 4 – Mudanças das classes entre 1985 e 2022

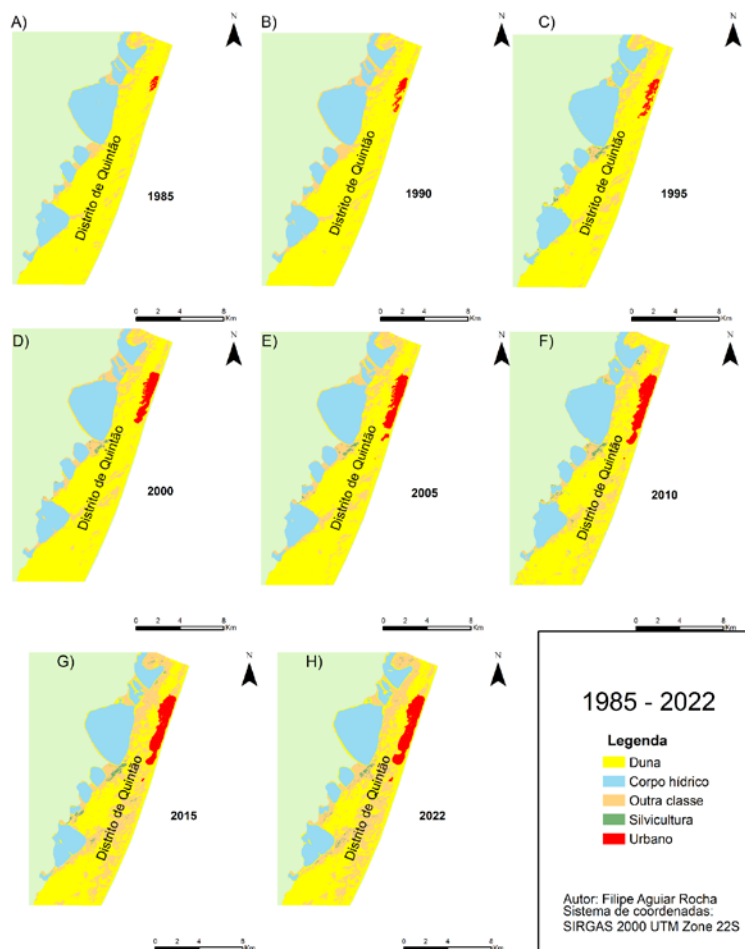


Figura 5 - Mapeamento das classes para o ano 1985 (A), 1990 (B), 1995(C), 2000 (D), 2005 (E), 2010(F), 2015(G) e 2022 (H).

Através da análise qualitativa das imagens, é possível observar que na parcela norte do distrito, próximo à linha de costa, houve um aumento da urbanização durante o período de análise, ocorrendo de forma contínua ao longo das datas selecionadas para o estudo.

É possível observar uma expansão acentuada entre 1985 e 2005, e entre 2005 e 2022 é possível observar um adensamento entre as regiões urbanas.

Esse fenômeno de aumento de urbanização, seguido de adensamento de núcleos urbanos, já havia sido observado por Grabski et al. (2015) para os balneários de Santa Vitória do Palmar, fundados em meados de 1920, também na costa do Rio Grande do Sul.

Os resultados de Grabski et al. (2015) mostraram que entre os anos de 1964 e 1996, preva-

leceu a fase de expansão urbana, caracterizada pelo crescimento territorial da área urbana e, no período entre 1996 e 2010, houve predominantemente um processo de adensamento urbano, indicando uma maior concentração de infraestruturas e atividades em áreas já urbanizadas.

Essas observações sugerem que as mudanças na configuração urbana são tendências observadas em diferentes regiões, devido a diversos fatores, como busca pelo turismo de sol e mar, políticas de desenvolvimento urbano, mudanças nas preferências habitacionais e busca por segundas residências na zona costeira.

A figura 6 detalha as modificações que ocorreram na área total durante o período de análise, sendo possível observar o aumento da área urbana ao longo do período.

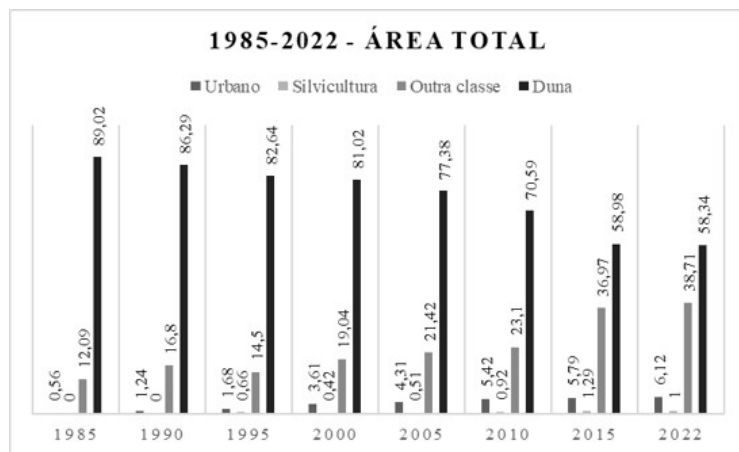


Figura 6 - Diferenciação entre as classes para cada um dos anos de análise.

Grabski et al. (2015), em sua cartografia do crescimento urbano nos balneários Barra do Chuí e Hermenegildo, ambos pertencentes ao município de Santa Vitória do Palmar-RS, durante o período de 1964 a 2010, encontraram valores próximos ao observado neste estudo. Na Barra do Chuí, em 1964, a área urbana representava 2,24% da área em estudo, alcançando 6,22% em 2010. Já no Hermenegildo, a área urbana abrangia 0,65% em 1964 e expandiu para 5,98% em 2010.

Os índices médios de crescimento anual para esses dois balneários foram, respectivamente, 0,087% e 0,12%. Já Sfredo & Silveira (2016), em sua análise sobre a ocupação do espaço urbano antrópico no município de São José do Norte - RS, quantificaram que, em 1964, a parcela percentual desta categoria correspondia a 2,24% da área total mapeada, aumentando para 6,61% em 2015. O índice médio de crescimento anual identificado foi de 0,086%.

Em relação ao Distrito de Quintão, Rocha (2022) realizou uma análise temporal das alterações antrópicas e seus impactos no sistema

de dunas do distrito entre os anos de 2002 e 2022. Como resultado observou um aumento de 334,55% da área das classes de impacto durante o período de análise. Especificamente em relação a expansão urbana, observou um aumento da urbanização passando de 4,44km² para 7,01 km² em 2022, representando um índice médio de crescimento urbano anual de 0,133%. Rocha (2022) destaca que as mudanças estão ligadas especialmente pela substituição dos sistemas de dunas pela classe urbana.

É possível observar a semelhança entre os resultados encontrados pelos outros autores e os resultados nesta pesquisa, em que mesmo com métodos distintos, Grabski et al (2015) e Sfredo & Silveira (2016) com utilização de fotografias aéreas em seus estudos, e Rocha (2022) com classificação por interpretação visual, os resultados encontrados para o índice de crescimento urbano anual foram semelhantes, mostrando que as imagens Landsat associadas a classificação semi-automática utilizada no trabalho possibilitaram uma análise com resultados satisfatórios.

Além disso a semelhança entre os trabalhos de Grabski et al (2015) e Sfredo & Silveira (2016) com esta pesquisa, é explicada devido a todos os balneários que foram analisados nestes estudos contarem com características similares como: balneários pequenos, casas utilizadas como segunda residência e frequentados por moradores das proximidades.

De forma a refinar a análise, com o intuito de identificar especialmente as alterações que ocorreram nas proximidades da linha de costa e consequentemente afetam o sistema de dunas frontais, realizou-se um buffer de 600 metros a partir da linha de costa.

Os dados obtidos indicam que, dentro da área total do buffer (13,95 km²), ocorreu um aumento de 547,5% da área urbana ao longo do período de análise, passando de 0,40 km² em 1985, representando 2,88% da área, para 2,59km² em 2022, o que representa 18,56% da área. Esse valor corresponde a um aumento médio de 18,54% ao ano.

Em se tratando apenas de dunas frontais em Quintão, quando analisado através do buffer, foi observado uma redução de 27,75%, passando de 10,74 km² em 1985 representando 76,96% da área, para 7,76 km² em 2022 representando 55,6 % da área, conforme a Tabela 6.

Tabela 6 - Diferenciação entre as classes (600m)

| Classe | 1985 | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2022 | 1985/2022 |
|--------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-----------|
| Urbano | 0,40 | 0,76 | 0,83 | 1,62 | 2,20 | 2,53 | 2,59 | 2,59 | 547,5% |
| Outra Classe | 1,32 | 1,14 | 1,56 | 1,33 | 1,34 | 2,00 | 2,80 | 2,37 | 79,55% |
| Duna | 10,74 | 10,73 | 10,37 | 9,11 | 9,10 | 7,81 | 7,23 | 7,76 | 27,75% |

A redução de 2,94 km² de área de dunas frontais e o aumento de 2,19% da área urbana, indicam uma substituição da classe Duna para classe Urbano. É fundamental destacar que, como já abordado, essas tendências não são isoladas, e múltiplos fatores podem interagir de maneira complexa, moldando a paisagem urbana de forma única.

O estudo de Sfredo & Tagliani (2016) para Rio Grande, também no sul do estado, evidencia que o crescimento urbano sem planejamento, e sobre a classe de dunas, é uma realidade em diferentes regiões. No contexto de Rio Grande, destaca-se que a classe dunas revelou-se como o ambiente que mais cedeu espaço ao uso urbano, totalizando 33,45% de sua área. Observou-se uma significativa redução dessa classe, passando de 16,98% para 1,20% da área mapeada ao longo do período analisado. Essa transformação representa uma diminuição percentual anual de 0,24%.

Estes dados indicam uma notável pressão urbana sobre as áreas de dunas, refletindo possíveis mudanças nas práticas de ocupação e uso do solo em Rio Grande ao longo do tempo.

Quando se trata de estudos de caso mais específicos na costa do Rio Grande do Sul, merece destaque a pesquisa realizada nos arredores da Lagoa Paurá, em São José do Norte, RS, por Lipp-Nissinen et al. (2018). Os pesquisadores identificaram uma redução significativa na extensão da classe de dunas, passando de 702 hectares em 1985 para 409 hectares em 2011. Essa análise foi conduzida por meio de imagens

de satélite Landsat. A diminuição observada representa uma queda expressiva de 42% ao longo desse período, correspondendo a uma taxa anual média de redução de 1,61%. Esses resultados ressaltam uma transformação notável nas características da paisagem nos arredores da Lagoa Paurá. Tal transformação sugere uma pressão contínua sobre a classe de dunas, possivelmente influenciada por fatores como o desenvolvimento urbano, atividades humanas e mudanças ambientais.

O aumento da área urbana sobre as dunas acaba impactando diretamente o ecossistema dessas áreas. Em regiões com dunas móveis, existe a possibilidade de soterramento de residências instaladas nas áreas do sistema de dunas, conforme ilustrado na figura 7.

Além disso, a redução das áreas de dunas frontais aumenta a exposição da população residente a eventos de inundação, uma vez que as dunas desempenham um papel essencial como barreiras naturais. Elas são fundamentais para conter o avanço do mar em eventos como tempestades meteorológicas e ressacas marítimas, cuja recorrência tem aumentado devido às mudanças climáticas. Neste sentido, destaca-se a importância de analisar as mudanças de uso e cobertura da terra em áreas próximas à linha de costa, com a ocorrência de dunas frontais. As mudanças das classes ao longo do período de análise, levando em consideração o buffer de 600m a partir da linha de costa podem ser observadas na figura 8.



Figura 6 - Avanços das dunas sobre as residências (Fonte: Marco Favero/GZH-Agência RBS, 2020)

Por meio da figura 8, torna-se evidente o crescimento da área urbana e a diminuição das dunas ao longo do período de análise. Essa substituição é particularmente notável ao norte

do distrito, onde há uma concentração significativa da área urbana. Através da figura 9 é possível observar as alterações que ocorreram na área.

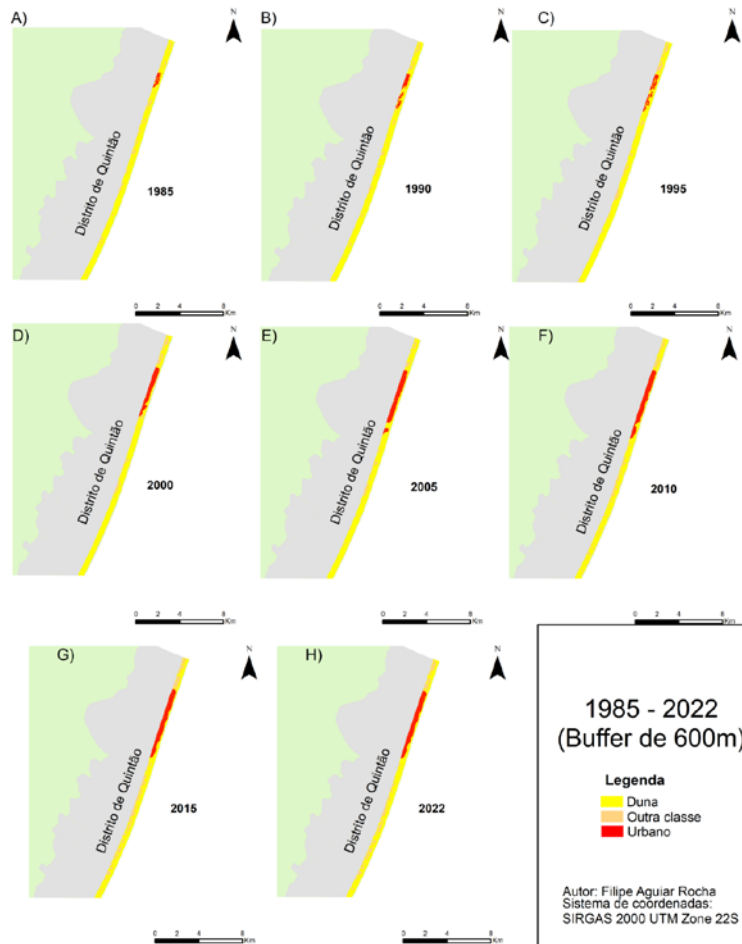


Figura 7 - Mapeamento das classes em um buffer de 600m da linha de costa para o ano 1985 (A), 1990 (B), 1995(C), 2000 (D), 2005 (E), 2010(F), 2015(G) e 2022 (H).

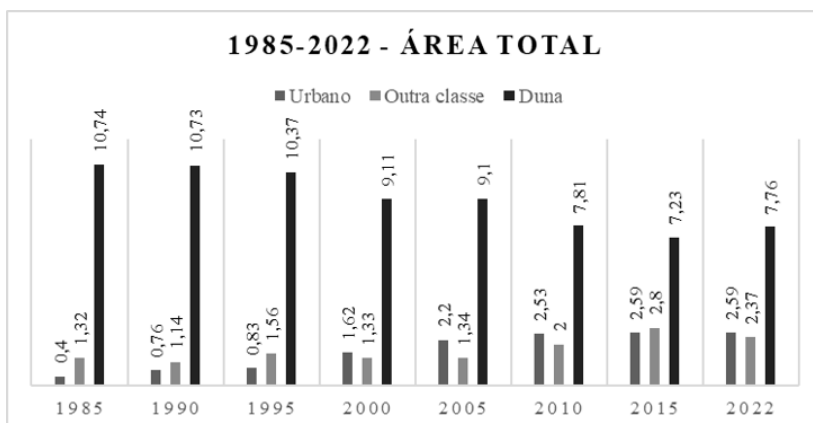


Figura 9 - Diferenciação entre as classes para cada um dos anos de análise relacionados a um buffer de 600m da linha de costa.

Tanto a análise da área total quanto a análise do buffer indicam a mesma tendência: a substituição da classe Duna pela classe urbana. No entanto, outras dinâmicas de alterações e mudanças foram observadas no período de estudo, como, por exemplo, a substituição da classe Duna pela classe Outra Classe. Ao comparar isoladamente os anos de 1985 e 2022, podemos visualizar o resultado das alterações ao

longo desse período (Figura 10). Esta análise torna-se particularmente importante quando se busca identificar as modificações que ocorreram ao longo do tempo. A utilização do Land Change Modeler, com a inserção dos dados mais antigos (1985) e mais recentes (2022), permite a obtenção de informações específicas relacionadas às alterações que ocorreram ao longo desse período (CLARK LABS, 2023).

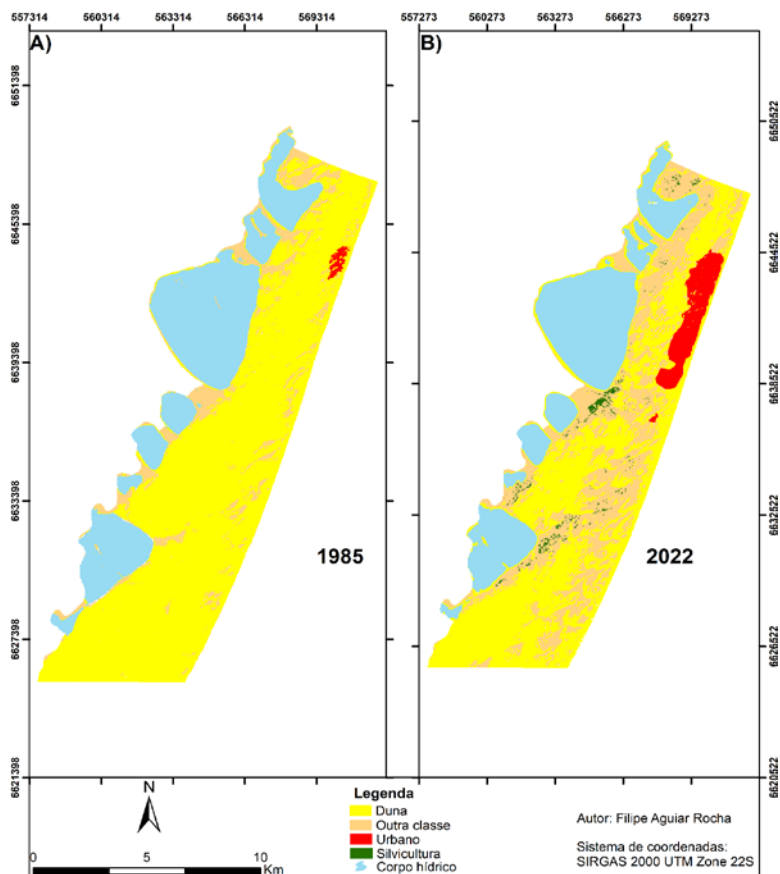


Figura 8 – Mapa de classes antrópico e natural, com diferenciação entre as classes entre 1985 e 2022.

A partir da modelagem de detecção de mudança da terra através da ferramenta Land Change Modeler do software TerrSet, foi possível analisar as mudanças das classes, os dados relacionados a transição e os dados relacionados a persistência das classes ao longo do período de análise (Figura 11).

Em relação ao mapa de persistência (Figura 11) é possível observar as áreas que permaneceram inalteradas entre 1985 e 2022. Em amarelo é possível observar as dunas que se mantiveram inalteradas, em rosa claro temos a classe Outras Classes e em vermelho a área urbana que se manteve inalterada ao longo do período de análise.

Em relação ao mapa de alterações entre as classes (Figura 12), podem ser identificadas as áreas que sofreram modificações ao longo do tempo,

destacando as transições entre as diferentes classes.

Em laranja escuro, destaca-se a substituição das áreas de dunas pela área urbana definida pela classe "Urbano".

Ao norte do distrito, onde se concentra a área urbana, é possível identificar as regiões que passaram por alterações mais significativas, especialmente devido ao aumento da área urbana e sua intensificação sobre o sistema de dunas.

Em cinza, são evidenciadas as áreas que sofreram alteração da classe Duna para a classe Outra Classe, correspondendo às áreas de dunas que passaram a ser vegetação rasteira, solo exposto, ou área não vegetada.

É possível observar estas alterações através dos gráficos de alteração individual das classes. Em relação a classe Duna, observa-se a sua substituição pela área urbana e por Outra Classe.

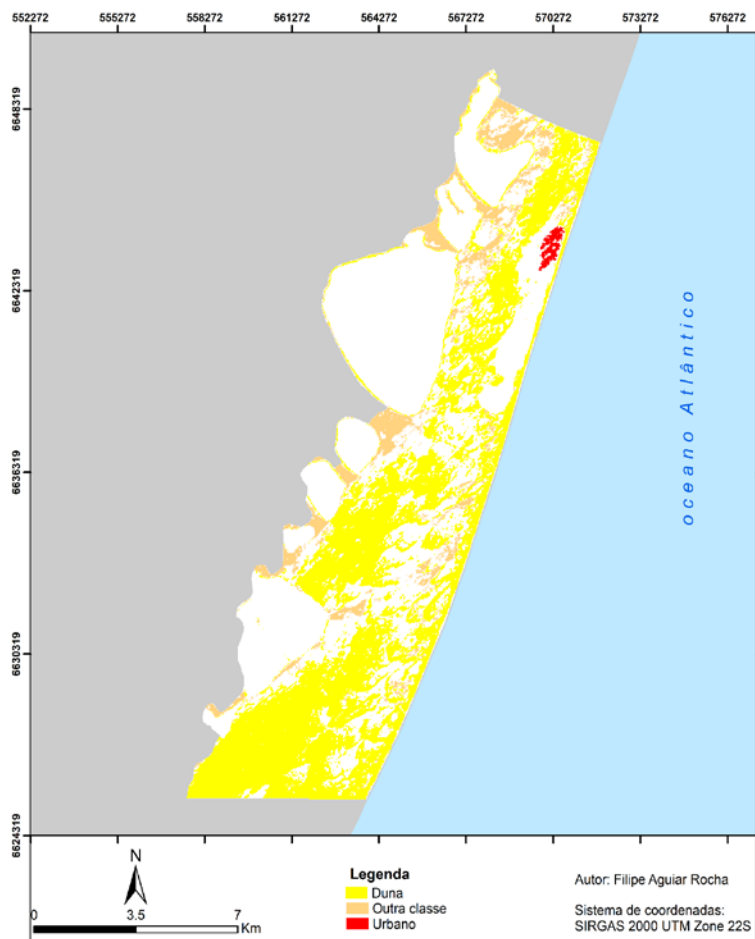


Figura 9 - Mapa de persistência entre as classes entre 1985 e 2022.

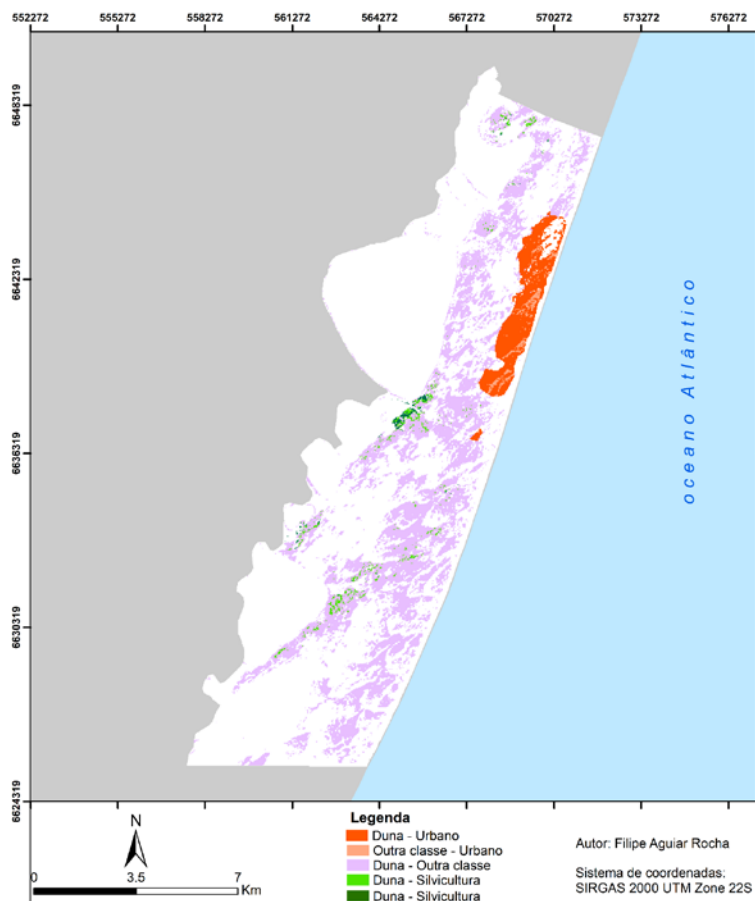


Figura 10 – Mapa de alteração entre as classes entre 1985 e 2022.

Essa substituição evidencia as transformações substanciais que ocorreram ao longo do intervalo de tempo entre 1985 e 2022, com a expansão da área urbana sobre as áreas anterior-

mente ocupadas por dunas, além da conversão das áreas de dunas em áreas de solo exposto, áreas não vegetadas ou com vegetação rasteira (Figura 13).

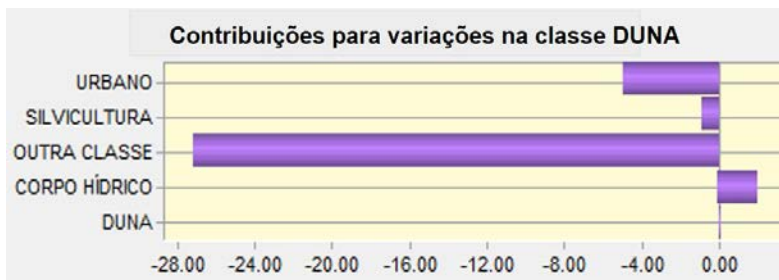


Figura 11 – Gráfico de alterações da classe Duna.

No gráfico da classe Urbano, é perceptível que sua principal alteração ocorreu na classe Duna. As áreas que eram ocupadas por dunas ao longo

do tempo passaram a ser incorporadas pela classe Urbano, refletindo o avanço da urbanização e o adensamento das áreas urbanas (Figura 14).

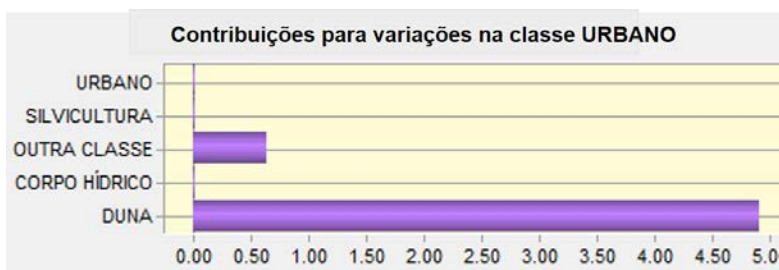


Figura 12 – Gráfico de alterações da classe Urbano.

Em relação ao gráfico da classe Outra Classe, observa-se a conversão das dunas para esta classe ao longo do período de análise, alterando de área

de dunas para ambientes de solo exposto, de vegetação rasteira ou de outras áreas não vegetadas (Figura 15).

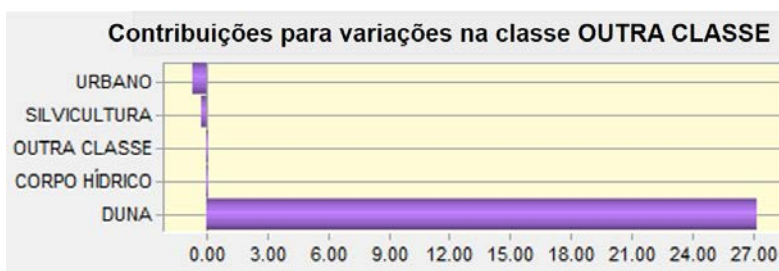


Figura 13 – Gráfico de alterações da classe Outra Classe.

Através do gráfico de variações da classe Silvicultura é possível observar a substituição da

classe Duna e da classe Outra Classe pela Silvicultura (Figura 16).

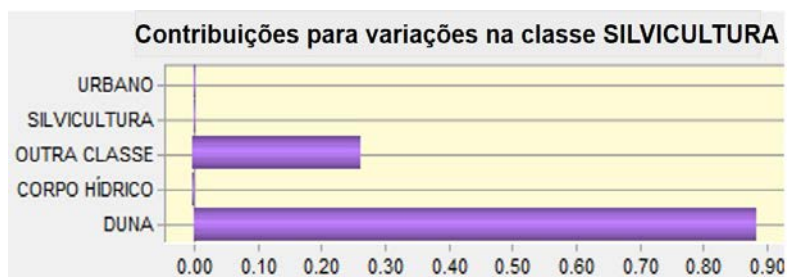


Figura 14 – Gráfico de alterações da classe Silvicultura.

Os resultados obtidos neste trabalho indicam as alterações que ocorreram ao longo do tempo e as características de alteração das classes, possi-

bilizando uma melhor compreensão da dinâmica de alteração no ecossistema de dunas entre 1985 e 2022.

A compreensão dessas transformações, auxiliam no embasamento de estratégias de manejo e conservação, visando a preservação

desse ecossistema costeiro e a mitigação de potenciais impactos adversos associados às atividades humanas.

CONCLUSÕES

A interligação entre a legislação ambiental, representada pelo PNGC, e a demografia da população costeira destaca a necessidade de políticas públicas integradas que visem não apenas a preservação ambiental, mas também o bem-estar e a segurança das comunidades costeiras. O aumento populacional nessas regiões demanda uma abordagem holística que considere não apenas a conservação dos recursos naturais, mas também o planejamento urbano, a resiliência às mudanças climáticas e a promoção do desenvolvimento sustentável.

Essa interação complexa entre o aumento populacional e as mudanças nos ambientes costeiros destaca a necessidade premente de intervenções sustentáveis e estratégias de gestão eficazes para mitigar os impactos negativos e promover a conservação ambiental nessas áreas sensíveis. Com base nos resultados alcançados, tornou-se evidente que as áreas mais impactadas ao longo do tempo são as dunas, especialmente relacionadas com a expansão urbana e a substituição das áreas de dunas por áreas urbanas. Tornando-se mais evidente esta alteração quando analisado em um buffer de 600m da linha de costa, onde temos maior interferência nas dunas frontais.

Nesse sentido, o conhecimento aprofundado sobre as transformações no uso da terra não apenas oferece uma perspectiva valiosa sobre a evolução dessas regiões, mas também estabelece uma base sólida para implementar estratégias que busquem conciliar o desenvolvimento humano com a conservação dos ecossistemas marinhos e costeiros. Isso é essencial para assegurar não apenas a preservação dos habitats naturais, mas também

a continuidade dos serviços ecossistêmicos essenciais para a proteção das áreas costeiras.

A assertiva de Villwock (1984) de que é necessário identificar os processos estressores e/ou impactantes que incidem sobre os ecossistemas na zona costeira continua válida. A partir dos resultados atuais para Quintão, percebe-se que a conservação e eventual restauração dos ecossistemas costeiros devem permanecer como preocupações constantes da sociedade, uma vez que, além da manutenção dos processos previamente identificados, surgem novos desafios decorrentes de formas emergentes de uso e ocupação do espaço.

Os resultados deste estudo reiteram a imperatividade da gestão dos ecossistemas naturais em regiões costeiras. O reconhecimento das modificações nesses ambientes fornece uma base para o planejamento do desenvolvimento urbano e a implementação sustentável das áreas naturais. Em um período marcado por significativas transformações socioeconômicas, o planejamento urbano assume uma importância crucial. Neste contexto, torna-se essencial determinar a orientação a ser adotada em relação à utilização dos recursos naturais costeiros.

Com base no exposto e diante das alterações ambientais identificadas decorrentes do crescimento urbano, propõe-se a implementação de um monitoramento contínuo da supressão de ambientes naturais em Quintão. Essa medida visa não apenas à preservação das dunas como parte fundamental do ecossistema costeiro, mas também a mitigação dos impactos negativos associados ao avanço urbano desordenado.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDRAKIS, G.; MANASAKIS, C.; KAMPANIS, N.A. Valuating the effects of beach erosion to tourism revenue. A management perspective. *Ocean & Coastal Management*, v. 11, p. 1-11, 2015.
- BARRAGÁN, J. M. & ANDRÉS, M. Analysis and trends of the world's coastal cities and agglomerations. *Ocean & Coastal Management*, v. 114, p. 11 -20, 2015.
- CALLIARI, L.J. & FIGUEIREDO, A.S. Sangradouros: distribuição espacial, variação sazonal, padrões morfológicos e implicações no gerenciamento costeiro. *Gravel*, n. 3, p. 47-57, 2005.
- CLARK LABS, **Land Change Modeler in TerrSet**. Disp. em: <https://clarklabs.org/terrset/land-change-modeler/> Acesso em: 07/2023
- DAILY, G. C. Introduction: what are ecosystem services? In: DAILY, G.; POSTEL, S.; BAWA, K. S.; KAUFMAN, L. (Eds). *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems*. Bibliovault OAI Repository, the University of Chicago Press. 1997.
- GRABSKI, K.R.; FARINA, F.; AYUP-ZOUAIN, R.; SILVA, T.S. Estudo da dinâmica da urbanização e seus impactos sobre ambientes costeiros baseado em Sensoriamento Remoto e SIG. Caso do município de Santa Vitória do Palmar, RS. Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, 2015.
- GZH, Agência RBS website: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/comportamento/verao/noticia/2020/02/engolidos-pela-areia-as-dunas-moveis-que-cobrem-ruas-e-casas-no-litoral-norte-ck69-okz1y0gjw01qd3ynkmnun.htm>. Acesso em: 12/2023
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil**, / IBGE, Diretoria de Geociências. - Rio de Janeiro, 176p. 2011.
- LANDRY, C.E.; SHONKWILER, J.S.; WHITEHEAD, J.C. Economic Values of Coastal Erosion Management: Joint Estimation of Use and Existence Values with recreation demand and contingent valuation data. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 103, p. 1-17, 2020.
- LIPP-NISSINEN, K.H.; PIÑEIRO, B.S.; MIRANDA, L.S.; ALVES, A.P. Temporal dynamics of land use and cover in Paurá Lagoon region, Middle Coast of Rio Grande do Sul (RS), Brazil. **J. Integr. Coast. Zone Manag.**, v. 18, p. 25-35, 2018.
- FAVERO, M. GZH - Agência RBS. Engolidos pela areia: as dunas móveis que cobrem ruas e casas no Litoral Norte. 2020. Fotografia. Jornal Zero Hora. Disponível em: <https://gauhazh.clicrbs.com.br/comportamento/verao/noticia/2020/02/engolidos-pela-areia-as-dunas-moveis-que-cobrem-ruas-e-casas-no-litoral-norte-ck69okz1y0gjw01qd3ynkmnun.html>. Data de acesso: 04/02/2024.
- MORAES, A.C.R. **Contribuições para a gestão da zona costeira do Brasil**. São Paulo. Editora Hucitec. 229 p. 1999.
- RAMGRAB, G. E.; WILDNER, W.; LOPES, R.C.; FAVILLA, C.A.C., SILVA, M.A.S.; SACHS, L.L.B.; SILVA, V.A.; BATISTA, I.H. **Folha SH. 22-Porto Alegre**. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Sistema de Informações Geográficas. Programa Geologia do Brasil. CPRM, Brasília (CD-ROM), 2004.
- REIS, E.G.; TAGLIANI, C.R.; ASMUS, M.L.; CALLIARI, L.J.; BERGESCH, M. The TRAIN-SEA-COAST Programme: new challenges for the development of human resources on coastal and ocean management in Brazil. **Ocean & coastal management**, v. 45, n. 9-10, p. 667-676, 2002.
- ROCHA, F.A. **Mapeamento e análise do uso do solo sobre o sistema de dunas do distrito de Quintão, Palmares do Sul – RS**. Porto Alegre, 73 p. 2022. Trabalho (Conclusão de Curso em Geografia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- ROSSATO. M.S. **Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia**. Porto Alegre, 253 p. 2011. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul
- SCHERER, M.; SANCHES, M.; NEGREIROS, D.H. **Gestão das zonas costeiras e as políticas públicas no Brasil: um diagnóstico**. Manejo Costero Integrado y Política Pública en Iberoamérica: Un diagnóstico. Necesidad de Cambio. Cádiz: Red IBERMAR (CYTED), p. 291-336, 2010.
- SFREDO, G.A. & SILVEIRA, W.O. Análise do crescimento urbano e modificações ambientais no município costeiro de São José do Norte - RS, em 1964 e em 2015. In: II CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE GESTÃO INTEGRADA DE ÁREAS LITORAIS, Florianópolis, 2016. **Anais...** Florianópolis, 2016.
- SFREDO, G.A.; TAGLIANI, C.R.A. Análise das modificações ambientais decorrentes da ocupação urbana em Rio Grande, RS, entre 1947 e 2014, por meio de um Sistema de Informações Geográficas. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 38, 213 - 230. 2016.
- SILVA, T.S. & TAGLIANI, P.R.A. Mudanças na cobertura e uso do solo nos entornos da Lagoa dos Patos: além da dimensão física. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 4, n. 1, p. 5 – 18, 2010.
- VILLWOCK, J. A. Geology of the Coastal Province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. A Synthesis. **Pesquisas em Geociências**, v. 16, n. 16, p. 5-49, 1984.

Submetido em 4 de fevereiro de 2024

Aceito para publicação em 20 de agosto de 2024