



Revista Brasileira de Geografia Física

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



Mapeamento das Áreas Potenciais (originais) e Remanescentes de Restinga: uma proposta metodológica para Santa Catarina, Brasil

Adilson Luiz Nicoletti¹, Alexander Christian Vibrans², Marlon Yuri Andrade³, Julia Leonor da Veiga³, Artur Ricardo Bizon⁴, Murilo Schramm da Silva¹, Débora Vanessa Lingner⁵, Thuane Laís Farias⁶

¹Engenheiro Florestal, Mestre em Engenharia Florestal, Departamento da Engenharia Florestal - Universidade Regional de Blumenau – FURB, alnicoletti@furb.br, murilo.sch.silva@gmail.com. ²Engenheiro Florestal, Professor Dr. em Geografia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal - FURB, acv@furb.br. ³Engenheiro (a) Florestal, Departamento da Engenharia Florestal - FURB, marlonyuri@hotmail.com, julia.engflo@gmail.com. ⁴Bacharel em Ciência da Computação, Departamento de Sistemas e Computação - FURB, arturbizon10@gmail.com. ⁵Engenheira Florestal, Mestre em Engenharia Ambiental, Departamento da Engenharia Florestal - FURB, dlingner@furb.br. ⁶Engenheira Florestal, Mestranda em Engenharia Florestal, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal - FURB, thuanef@furb.br

Artigo recebido em 18/02/2023 e aceito em 20/04/2023

RESUMO

A restinga, formação vegetal pioneira da Floresta Ombrófila Densa, compreende fisionomias herbáceas, arbustivas e arbóreas; ela ocorre em ambientes sob influências flúvio-marinhas do litoral brasileiro. A restinga sofre forte pressão humana devido à especulação imobiliária em Santa Catarina, tanto pela expansão urbana quanto por outros tipos de ocupação. Como há diferenças entre a legislação de supressão de vegetação e ocupação de áreas localizadas na restinga e fora dela, a delimitação de áreas efetivamente sujeitas aos regramentos vigentes (inclusive daquelas com vegetação recentemente suprimida) é relevante para a conservação e ocupação minimamente ordenada e planejada a longo prazo das áreas litorâneas. O objetivo do estudo é a identificação e validação de indicadores físicos disponíveis em acervos públicos que permitem delimitar áreas potenciais, bem como identificar remanescentes de restinga. A nossa hipótese de trabalho foi que a sobreposição de mapas com indicadores topográficos, hidrogeológicos, geomorfológicos, pedológicos e de geodiversidade permitisse, baseada em critérios transparentes e replicáveis, propor uma delimitação de áreas propícias para ocorrência de restinga, entendidas como “áreas originais”. Dessa sobreposição, com posterior edição manual, resultou um mapa com área de 1.733,8 km², com acurácia geral de 98,2% (apoiada em 15.000 pontos de controle). Por sua vez, os remanescentes de restinga, mapeados utilizando classificação *Random Forest* de multiespectrais de reflectância de superfície, somam 796,31 km² (45,7% da área potencial), com acurácia acima de 96%. Disponibilizamos ao poder público uma linha base espacialmente explícita, fundamentada em sólidas evidências físicas coletadas de forma independente, permitindo ações de conservação, planejamento territorial, licenciamento e controle ambiental.

Palavras-chave: Vegetação litorânea; hidrogeologia; geomorfologia; geodiversidade; camadas imagens geográficas.

Mapping the potencial (original) and remnant areas of Restinga: a method proposed for Santa Catarina, Brazil

ABSTRACT

“Restinga” is a pioneer vegetation formation of the evergreen rainforest that comprises herbaceous, bushy and arboreal physiognomies; it occurs in environments under river-marine influences along the Brazilian coast. In the state of Santa Catarina, this vegetation is under strong human pressure by real-estate speculation, urban expansion and other land uses. Because the laws regulating suppression of restinga vegetation and land use change in its occurrence areas differ from those for other forest formations, the correct delimitation of potential occurrence areas (including those already deforested) is important for conservation and ordained occupation of coastal areas in the long term. Therefore, the aim of this study was to identify and validate open-access physical indicators that allow for the delimitation of both potential and remnant restinga areas. Our working hypothesis is that the superposition of topographic, hydrologic, geomorphological, soil, and geodiversity maps will permit us to determine the potential area of occurrence of restinga; according to transparent and replicable criteria; this area will be therefore regarded as the original occurrence area. After superposition and manual edition of maps, we found a potential area of restinga of 1,733.8 km², with 98.2% of accuracy using 15,000

Nicoletti, A. L., Vibrans, A. C., Andrade, M. Y., Veiga, J. L., Bizon, A. R., Silva, M. S., Lingner, D. V., Farias, T. L.

ground control points. On the other hand, we found 796.31 km² of restinga remnants (45.7% of the potential area), mapped through the “Random Forest” algorithm applied to multispectral images, with accuracy above 96%. We make available to governmental agencies a spatially explicit solid database, constructed with independently collected physical evidences, which can support conservation actions, territorial planning, and environmental inspection.

Keywords: Coastal vegetation; hydrogeology; geomorphology; geodiversity; geographic layers.

Introdução

A restinga é uma formação vegetal pioneira da Floresta Ombrófila Densa que inclui formações herbáceas, arbustivas e arbóreas, ocorrendo em ambientes sob influências flúvio-marinhas nas planícies costeiras arenosas do Quaternário do Brasil (Silva et al., 2010). Entende-se por restinga “o conjunto de comunidades vegetais, distribuídas em mosaico, associado aos depósitos arenosos costeiros quaternários e aos ambientes rochosos litorâneos – também consideradas comunidades edáficas – por dependerem mais da natureza do solo do que do clima, encontradas nos ambientes de praias, cordões arenosos, dunas, depressões e transições para ambientes adjacentes, podendo apresentar, de acordo com a fitofisionomia predominante, estrato herbáceo, arbustivo e arbóreo, este último mais interiorizado” (Resolução nº 417, 2009). Em Santa Catarina, a restinga ocorre, segundo Reitz (1961), numa faixa estreita de até sete quilômetros de largura ao longo da costa. Composição florística, estrutura e estágios sucessionais da restinga em Santa Catarina foram objetos de diversos estudos (Reitz, 1961; Falkenberg, 1999; Rogalski & Araújo, 2005; Klein et al., 2007; Korte et al., 2013; Melo Júnior & Boeger, 2015; Paz, 2016; Schlickmann et al., 2016; Silva & Melo Júnior, 2016; Melo Júnior et al., 2017; Santos et al., 2017; Melo Júnior & Boeger, 2018; Schlickmann et al., 2019; Opolski-Neto & Melo Júnior, 2022; Tietz et al., 2023).

Com suas características florísticas e estruturais que a distinguem de outras formações vegetais, a restinga mostra preferência por um conjunto de condicionantes edáficos, geológicos e geomorfológicos, descritos para Santa Catarina por Klein (1978), Veloso et al. (1991), Falkenberg (1999) e Opolski-Neto e Melo Júnior (2022), e para outras regiões do Brasil por Rizzini (1997), Assis et al. (2004), Amaral et al. (2008), Souza et al. (2009), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016) e Correia et al. (2020). Em diversas regiões do estado, a restinga sofre ameaças de degradação ambiental (Folharini et al., 2020), supressão e fragmentação, causadas principalmente pela especulação imobiliária e crescente urbanização, ocupação para fins residenciais, turísticos, industriais e de

infraestrutura, além de agricultura, pecuária e reflorestamentos com espécies exóticas (Barcelos et al., 2012; Santos et al., 2023). Essas ameaças juntas com as mudanças climáticas, indicam a perda de espécies conforme as projeções climáticas para 2050 alertando para uma perda crítica da biodiversidade (Inague et al., 2021).

Poucos estudos abordam a delimitação da extensão original ou potencial da restinga catarinense e de seus remanescentes, como Ribeirinha et al. (2021); no entanto, tal delimitação é de suma importância para o licenciamento e controle ambiental e, numa perspectiva mais ampla, para o planejamento territorial (urbano e periurbano). A restinga possui regramentos para licenciamento de supressão e ocupação de áreas ainda naturais ou “não urbanizadas” do litoral catarinense (e de outras regiões brasileiras) previstos na legislação (Resolução nº 261, 1999; Resolução nº 303, 2002; Lei nº 11.428, 2006; Resolução nº 417, 2009; Lei nº 12.651, 2012; Lei nº 16.342, 2014; Resolução nº 98, 2017; Lei nº 18.350, 2022; Enunciado nº 04, 2022). Esses regramentos aplicam-se à totalidade da área (potencial ou original) de restinga, uma vez que todas as áreas, mesmo após supressão ou desmate, não deixam de ser “restinga”; esse entendimento é análogo às demais formações que ocorrem na área (original) da Mata Atlântica, delimitada pelo IBGE (Lei nº 11.428, 2006); em segundo lugar, a legislação trata todas as áreas de transição também como pertencentes à restinga. Assim, a delimitação de áreas efetivamente sujeitas aos regramentos vigentes “na restinga” é muito relevante para a conservação de áreas naturais ainda existentes e para uma ocupação minimamente ordenada e planejada das áreas litorâneas a longo prazo.

A delimitação da extensão original ou potencial é difícil, pois está relacionada a fatos pretéritos não documentados por informações espacialmente explícitas (mapas). A delimitação de remanescentes por meio de técnicas de sensoriamento remoto, por sua vez, enfrenta dificuldades diante das várias formações da restinga, respectivas áreas de transição (ecótonos), inclusive com a Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas (FOD-TB) (Caris et al., 2013). Em imagens multiespectrais de média resolução espacial, utilizadas em mapeamentos temáticos em escala regional, diversas formações da restinga

apresentam características espectrais semelhantes entre si e a outros tipos de uso e cobertura da terra, como solo exposto, campos naturais, pastagens e florestas de terras baixas.

Os mapeamentos temáticos de uso e cobertura da terra que incluem a classe “restinga” para Santa Catarina são: Projeto RADAMBRASIL (1973-1987); Levantamento da Cobertura Florestal (LCF) da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do estado de Santa Catarina (SAR) (SAR, 2005); PROBIO (Cruz & Vicens, 2007); Projeto de Proteção da Mata Atlântica – PPMA (Geoambiente, 2008), Atlas dos Remanescentes da Mata Atlântica (Fundação SOS Mata Atlântica, 2017) e Projeto MapBiomias (Souza et al., 2020). A área total de restinga obtida nesses mapeamentos varia entre 132,84 km² (Cruz & Vicens, 2007) e 1.002,74 km² (Projeto MapBiomias, 2023); parte considerável dessas áreas não coincidem. Esses levantamentos empregaram imagens com diferentes resoluções espaciais e espectrais, bem como diferentes escalas e áreas mínimas mapeadas e procedimentos de classificação: o projeto RADAMBRASIL produziu mapas temáticos na escala de 1:250.000, por meio de processamento semiautomatizado de dados de sensores Radar aerotransportados de visada lateral (SLAR). O Atlas dos Remanescentes da Mata Atlântica empregou interpretação visual de imagens Landsat-8, com área mínima mapeada de 3 ha em escala 1:50.000, enquanto o Projeto MapBiomias gera mapas anuais de uso e cobertura da terra por meio de processos de classificação automática das imagens da série Landsat. As características dos mapeamentos LCF/SAR, PROBIO e PPMA foram elencadas por Vibrans et al. (2013).

Dessa forma, é possível afirmar que atualmente não existem mapas da extensão de restinga em Santa Catarina elaborados com metodologia consistente, documentada e publicada, estimativas de incertezas baseadas em imagens síncronas, cobrindo toda extensão do litoral catarinense.

Para preencher esta lacuna, procuramos neste estudo, desenvolver uma metodologia, baseada em evidências físicas publicadas, para delimitar áreas potenciais de restinga e caracterizar, em seguida, a cobertura e o uso atuais destas áreas. Nossa hipótese de trabalho é que a sobreposição de mapas contendo determinadas camadas geográficas permita identificar locais onde certas combinações de classes de atributos destas camadas, indicam de forma consistente e validável a ocorrência potencial de restinga. Assim, os objetivos do nosso trabalho foram: (a) identificar e avaliar a consistência de um conjunto de características topográficas, hidrogeológicas, geomorfológicas, pedológicas e de geodiversidade como potenciais preditoras da ocorrência de restinga; (b) validar a metodologia de delimitação de áreas com potencial de ocorrência de restinga a partir de um conjunto de pontos de controle; (c) identificar as classes de uso e cobertura da terra presentes em áreas com potencial de ocorrência de restinga.

Material e métodos

Área de Estudo

A área de estudo compreendeu toda a costa do estado de Santa Catarina, no sul do Brasil, localizada entre os paralelos 25°57'05,62" e 29°19'46,22" de latitude sul e os meridianos 48°24'09,04" e 49°44'50,76" de longitude oeste de Greenwich. O estudo abrangeu os territórios de até dois municípios a partir da costa em direção ao interior do continente, contemplando uma faixa média de 25 km. Esta área foi dividida em três regiões, a Região Norte, entre os municípios de Itapoá e Itapema; a Região Central, entre Porto Belo e Imbituba, incluindo a Ilha de Santa Catarina (Florianópolis); e a Região Sul, entre Laguna e Passo de Torres, na divisa com o estado do Rio Grande do Sul (Figura 1).

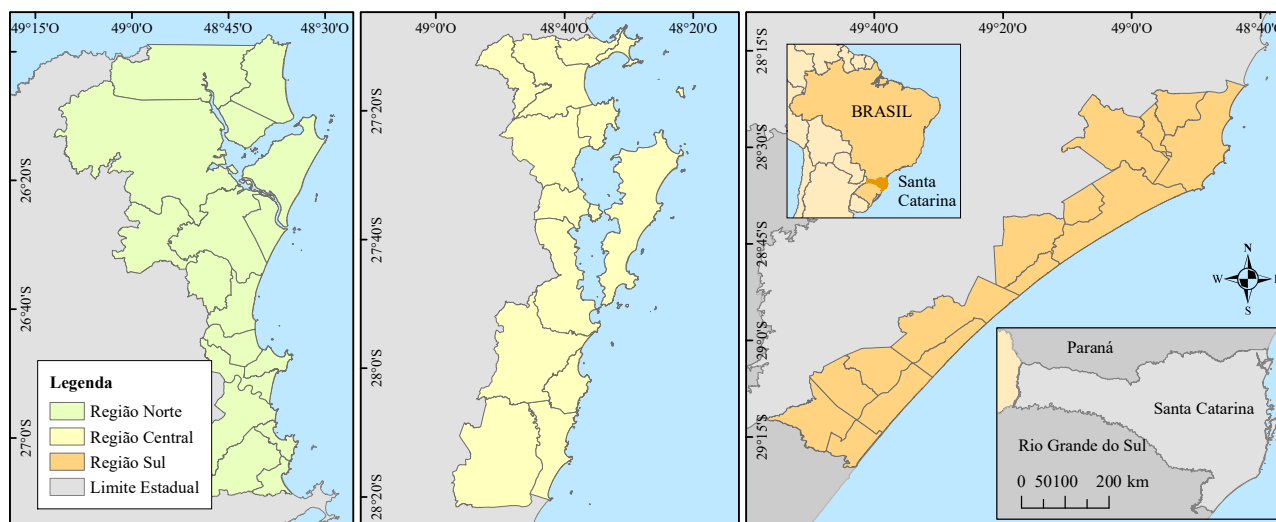


Figura 1. Área de estudo dividida em três regiões do litoral de Santa Catarina; Norte, Central e Sul respectivamente.

Coleta de dados

Os dados utilizados para delimitar áreas potenciais de ocorrência de restinga consistem em atributos de cinco camadas geográficas (topografia, hidrogeologia, geomorfologia, pedologia e geodiversidade).

Dentre os dados topográficos, foi utilizada a altimetria, determinada pelo modelo digital de elevação (MDE) do projeto *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) (Farr et al., 2007), o qual possui formato matricial com resolução espacial de 30 m, expressos em coordenadas geográficas (latitude/longitude). A acurácia absoluta horizontal do MDE é de 20 m (para um erro circular com 90% de confiança), enquanto a vertical é de 16 m (para erro linear com 90% de confiança) (Farr et al., 2007). Utilizamos dados da versão 3 do MDE, disponibilizados em 2015, após revisão e melhoria das informações através da integração com dados do sensor ASTER (NASA LP DAAC, 2015). O atributo altimetria foi organizado em duas classes: 1) altitudes entre 0 e 40 m; e 2) altitudes acima de 40 m, de acordo com o modelo digital de elevação SRTM. A restinga ocorre geralmente em altitudes < 40 m (Assis et al., 2011; Paz, 2016); algumas dunas, no entanto, podem ultrapassar este limite, como em áreas de acumulação eólica (Martins, 2019).

As classes dos atributos do subdomínio hidrogeológico (aluvões, bacia do paraná, depósitos litorâneos, cristalino, formações cenozóicas indiferenciadas) da camada geográfica hidrogeologia foram obtidas do Mapeamento dos Domínios e Subdomínios Hidrogeológicos do Brasil, em escala 1:2.500.000, formato vetor (Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2007). A

ocorrência de restinga  esperada nos depósitos litorâneos e aluves (CPRM, 2007) e mais raramente no cristalino e em formações cenozóicas indiferenciadas.

Os dados geomorfológicos utilizados têm origem nas Cartas de Geomorfologia do Brasil (IBGE, 2018) em escala 1:250.000, em formato vetor. Entre os dados disponíveis, foi considerado o atributo Modelo de acumulação, parâmetro identificado no maior grau de detalhamento possível (Formas de Relevo), entre as unidades organizadas em ordem decrescente de grandeza: Domínios Morfoestruturais, Regiões Geomorfológicas, Unidades Geomorfológicas, Modelados e Formas de Relevo Simbolizadas. Na literatura, os depósitos sedimentares quaternários, constituídos pelos modelos de acumulação eólica, lagunar, marinha, fluviomarina e fluviolacustre, bem como fluvial e lacustre (mais raras e não exclusivamente de restinga), são entendidos como condicionantes de restinga (Resolução n 261, 1999; Paz, 2016; IBGE, 2009).

A pedologia foi caracterizada usando o mapeamento das classes de solos, na escala de 1:250.000, em formato vetor (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2004). As classes de solo que permitem o desenvolvimento de restinga são os Neossolos Quartzarênicos (Gomes et al., 2007; Joly et al., 2012; Melo Júnior & Boeger, 2018) (desenvolvidos em areias quartzosas marinhas), Dunas e Areias de Praias (Melo Júnior et al., 2017) e Espodossolos (Gomes et al., 2007; Coelho et al., 2010; Santos et al., 2017; Opolski-Neto & Melo Júnior, 2022). Estes últimos não são exclusivos de restinga, podendo ocorrer em vegetação de transição com a FOD-TB (Boeger et al., 1998). Os “sprays” marinhos são considerados, no caso das areias, as principais fontes de

nutrientes desses ambientes (Araújo & Lacerda, 1987; Gomes et al., 2007; Joly et al., 2012). Neossolos Quartzarênicos – Areias Quartzosas Vermelho-Amarelos, no entanto, não foram considerados condicionantes para a ocorrência de restinga, devido à sua origem interiorana (com sedimentos arenosos das encostas) e não marinha.

No âmbito da geodiversidade, o atributo utilizado foi relevo (macro compartimentos do relevo), obtido do Mapa Geodiversidade do estado de Santa Catarina, na escala de 1:500.000, em formato vetor (CPRM, 2010). Entre as formas de relevo, a restinga é observada geralmente em campos de dunas, planícies costeiras, planícies fluviomarinhas e planícies fluviais ou fluviolacustres (Viero & Silva, 2016).

As classes de uso e cobertura da terra foram obtidas a partir do novo mapa de cobertura florestal do estado de Santa Catarina – MonitoraSC (Vibrans et al., 2021). A classificação para a faixa litorânea utilizou imagens do satélite Landsat-8, sensor OLI (*Operational Land Imager*), das bandas espectrais 2 a 7: 2-azul (0,452 – 0,512 μm), 3-verde (0,533 – 0,590 μm), 4-vermelho (0,636 – 0,673 μm), 5-infravermelho próximo (0,851 – 0,879 μm), 6-infravermelho médio 1 (1,566 – 1,651 μm) e 7-infravermelho médio 2 (2,107 – 2,294 μm); também foram empregadas bandas artificiais como o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) (Rouse et al., 1974) e o índice de vegetação realçado (EVI2) (Jiang et al., 2008), com suas respectivas métricas (média, desvio padrão e coeficiente de variação) calculadas com base em imagens captadas em diferentes épocas do ano de 2017. Outro material utilizado para classificar a faixa litorânea foi a banda contendo a distância de cada pixel em relação à costa (no continente e na Ilha de Santa Catarina). Essa banda foi utilizada para diferenciar as classes temáticas “praias e dunas” e “solo exposto”, entre outras classes. As cenas e as datas das imagens da faixa litorânea foram 220-078 (14/05/2017), 220-079 (28/04/2017), 220-079 (03/09/2017) e 220-080 (03/09/2017), e a resolução espacial das imagens foi de 30 m.

Processamento de dados

Delimitação da área com potencial para ocorrência de restinga

A preferência da restinga por sítios com um conjunto de características pedológicas, geológicas e geomorfológicas foram apontadas por Klein (1978), Veloso et al. (1991), Rizzini (1997), Falkenberg (1999), Assis et al. (2004), Amaral et

al. (2008) e Korte et al. (2013). Propomos aqui o uso de até cinco camadas geográficas (topografia, hidrogeologia, geomorfologia, pedologia e geodiversidade) com seus respectivos atributos e classes para delimitar a área com potencial de ocorrência de restinga. Para tornar a nomenclatura mais prática, adotaremos “área potencial de restinga” ao invés de “área com potencial de ocorrência de restinga”.

Primeiramente, foi realizada a sobreposição (intersecção) dos polígonos (em formato vetor) de todas as classes preferenciais (segundo a literatura) dos atributos das cinco camadas geográficas, na área de dois municípios a partir da costa em toda sua extensão (Figura 1). Em seguida, os polígonos resultantes das intersecções foram classificados em três categorias, a saber, (i) “potencial muito alto”, (ii) “potencial alto” e (iii) “transição”, conforme os Quadros 1 a 3:

- i) os que apresentam a coincidência de classes de atributos preferenciais de restinga pertencentes a ≥ 4 camadas geográficas listadas acima, receberam o rótulo “potencial muito alto”;
- ii) os que apresentam a coincidência de classes pertencentes a 2 ou 3 camadas geográficas, foram incluídos na categoria “potencial alto”;
- iii) os que apresentam a presença de classes de atributos típicos tanto de restinga, quanto de florestas de terras baixas, atribuímos à classe “transição”.

Os polígonos que não apresentaram informação em todas as cinco camadas geográficas (1,7% da área de estudo), devido à ausência de informações nos mapeamentos consultados, foram submetidos à interpretação visual de camadas e imagens e à edição manual, atribuindo a cada polígono uma das três categorias, usando experiência e conhecimento de campo do analista. Polígonos isolados e com área $\leq 100 \text{ m}^2$ foram atribuídos à classe majoritária do entorno e representam menos de 0,01% da área de estudo; polígonos localizados longe da costa e fora do ambiente marinho foram excluídos.

De acordo com a legislação vigente (Resolução nº417, 2009), áreas de “transição” ecológica (ou ecótonos) também devem ser consideradas restinga, embora possam apresentar elementos florísticos e estruturais da FOD-TB.

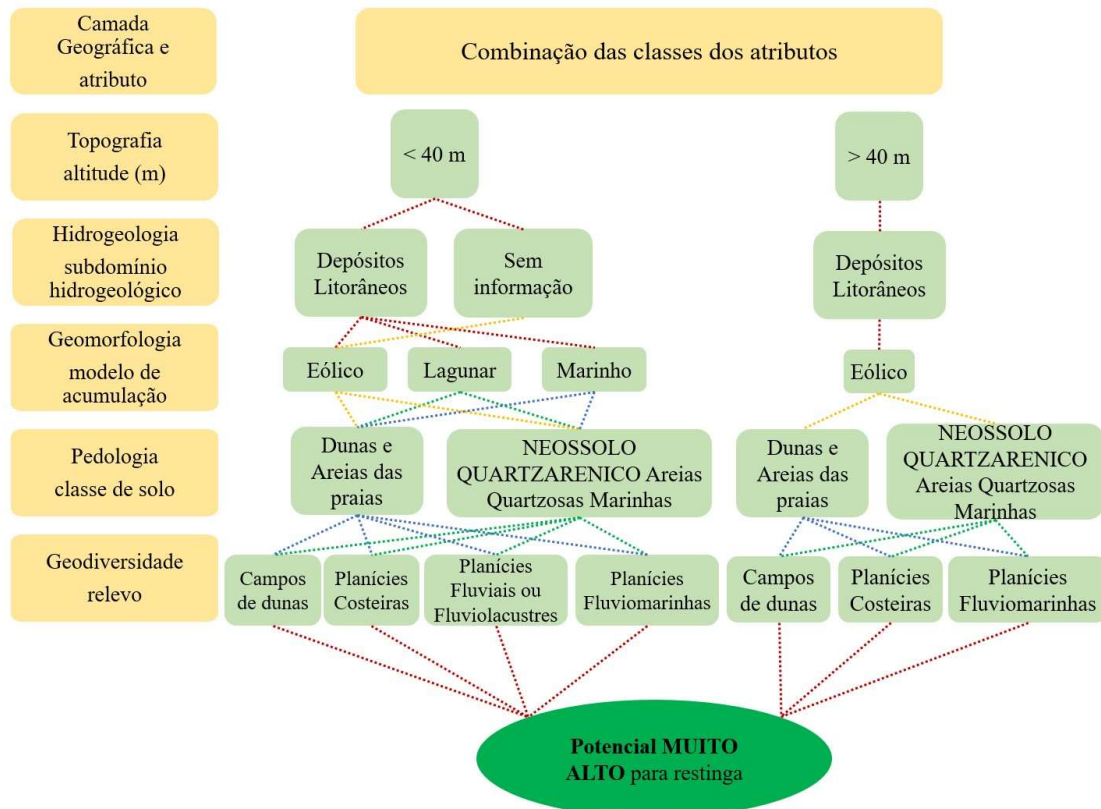
O Quadro 1 mostra as 30 combinações mais frequentes das classes de atributos com “potencial muito alto para restinga”. Os polígonos provenientes dessas combinações somam 36,3% do total das áreas potenciais de restinga em Santa Catarina (incluídas as áreas de transição). Por outro

Nicoletti, A. L., Vibrans, A. C., Andrade, M. Y., Veiga, J. L., Bizon, A. R., Silva, M. S., Lingner, D. V., Farias, T. L.

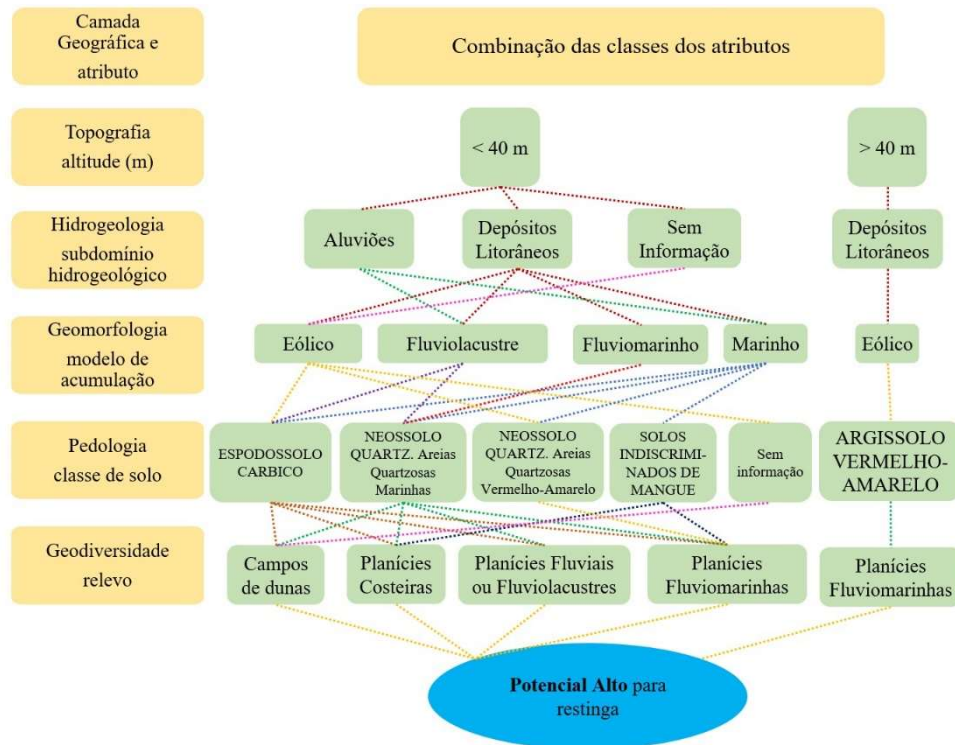
lado, estes mesmos polígonos representam 97% do total das áreas com “potencial muito alto para restinga”. Os Quadros 2 e 3 apresentam as combinações mais frequentes das demais categorias.

Em seguida, foram elaboradas quatro versões do mapa das áreas potenciais de restinga, sendo que a versão 1, descrita acima, foi gerada em duas etapas: automatizada e interpretação visual (onde 358 combinações das classes dos atributos representam 99,3% da área de estudo). Outras três versões das áreas potenciais de restinga foram

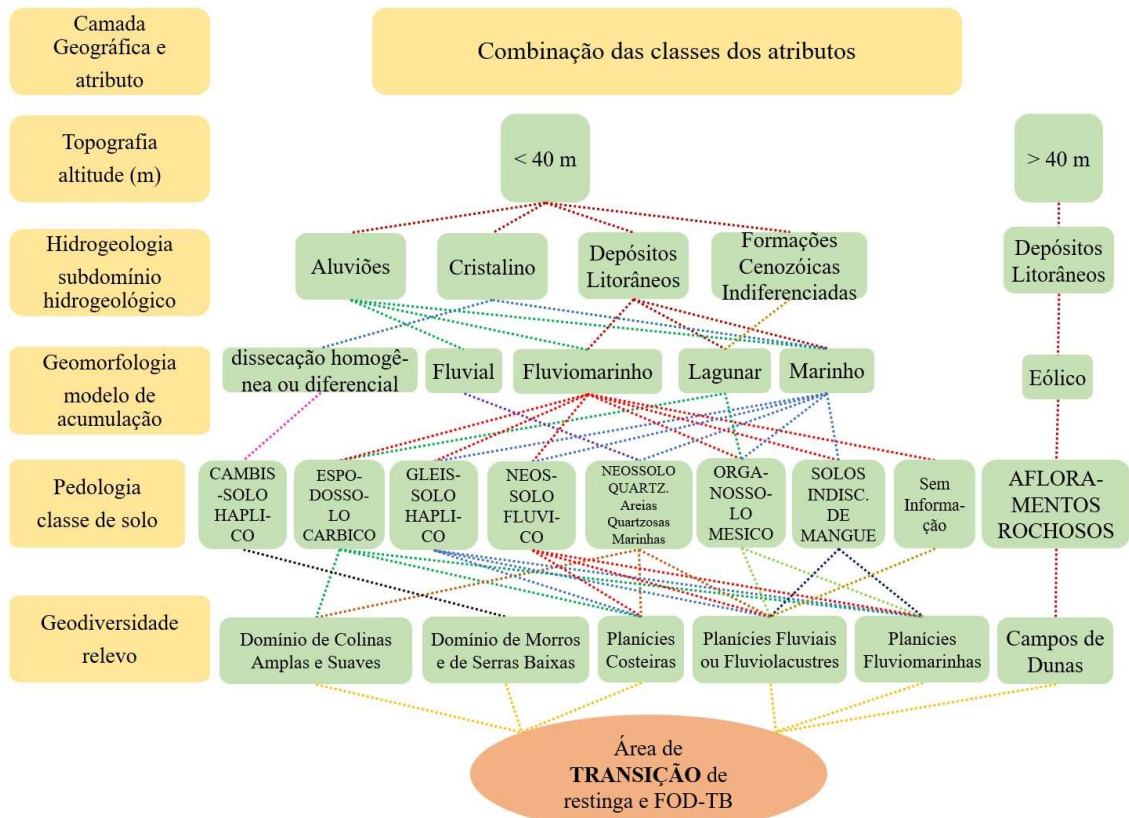
geradas com uma metodologia totalmente automatizada, sendo: (a) versão 2: inclusão de todos os polígonos resultantes apenas das combinações contidas nos Quadros 1, 2 e 3, sem edição manual; (b) versão 3: contém os polígonos da versão 2 com adição de todos os polígonos resultantes de outras 17 combinações das classes dos atributos espacialmente representativos para as áreas potenciais de restinga; (c) versão 4: contém todos os polígonos da versão 3, no entanto, considerando apenas uma faixa de 8 km de distância da costa.



Quadro 1. Principais combinações de classes de atributos das camadas geográficas das áreas com “potencial muito alto para restinga”, representando 97% da área com “potencial muito alto” e 36,3% da área total potencial de restinga no estado. As linhas tracejadas em cores diferentes identificam apenas os grupos de ligação entre as classes.



Quadro 2. Principais combinações de classes de atributos das camadas geográficas das áreas com “potencial alto para restinga”, representando 83% da área com “potencial alto” e 41,8% da área total potencial de restinga no estado. As linhas tracejadas em cores diferentes identificam apenas os grupos de ligação entre as classes.



Quadro 3. Principais combinações de classes de atributos das camadas geográficas das áreas potenciais de restinga da categoria “transição” representando 80% da área de “transição” e 9,9% da área total potencial de restinga no estado. As linhas tracejadas em cores diferentes identificam apenas os grupos de ligação entre as classes.

Validação do mapeamento das áreas potenciais de restinga

A validação das quatro versões das áreas potenciais de restinga foi realizada com base em 15.048 pontos de controle do banco de dados do mapeamento MonitoraSC (Vibrans et al., 2021), onde 83% dos pontos foram utilizados para treinamento do classificador e 17% para validação do mapeamento. Os pontos foram reenquadrados nas classes “restinga” e “não restinga”. A classe “restinga” contém amostras de seis formações: restinga arbórea, restinga arbustiva, restinga herbácea, restinga herbácea com indício de alagamento, além de dunas e praias; a classe “não restinga” contém usos da terra como agricultura, pastagem, reflorestamento, áreas urbanizadas, e florestas. Numa matriz de confusão foram calculados os percentuais de acertos e erros das quatro versões dos mapas.

Identificação das classes de uso e cobertura da terra presentes nas áreas potenciais

A identificação das classes de uso e cobertura da terra foi realizada por meio da sobreposição de vetor entre as áreas potenciais e o mapeamento de uso e cobertura da terra do projeto MonitoraSC (Vibrans et al., 2021). Posteriormente foram calculadas as áreas dos polígonos e realizada a quantificação das classes de uso e cobertura da terra em diferentes delimitações (por região, município e categoria da área potencial).

As classes de uso e cobertura da terra foram mapeadas pelo MonitoraSC por meio de classificação automatizada pelo algoritmo *Random Forest* (RF) com 500 árvores de decisão e em média 15 bandas (espectrais e artificiais). Referente aos remanescentes da restinga catarinense, as amostras de treinamento foram coletadas em suas diversas formações, desde a vegetação herbácea e subarbustiva de praias e dunas frontais até a vegetação arbórea (mata de restinga), as quais foram fundidas na classe “Restinga” (Figuras 2 e 3). Amostras colhidas nas praias e dunas (Figura 4) formaram a classe “dunas e praias”. A validação da classe restinga mostrou uma acurácia do produtor de 96,83% e do usuário de 98,76% (Vibrans et al., 2021).

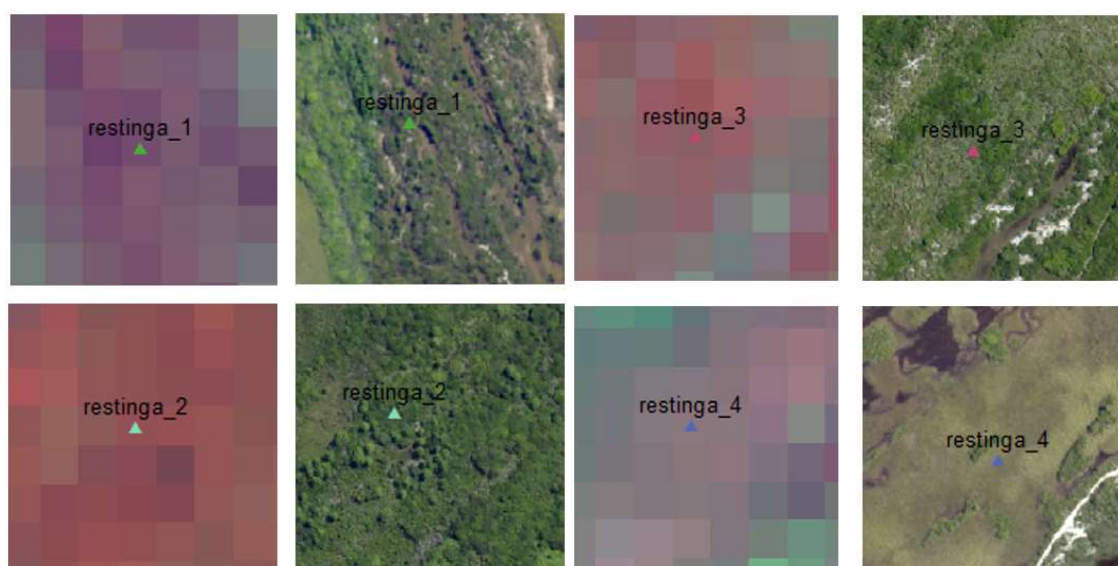


Figura 2. Amostras de treinamento da restinga, arbórea: restinga_1, arbórea-arbustiva: restinga_2, arbustiva-subarbustiva: restinga_3; herbácea de interior: restinga_4. Esquerda: imagem Landsat-8 R5G6B2; direita: imagem aerolevantamento da SDE (Santa Catarina, 2012).

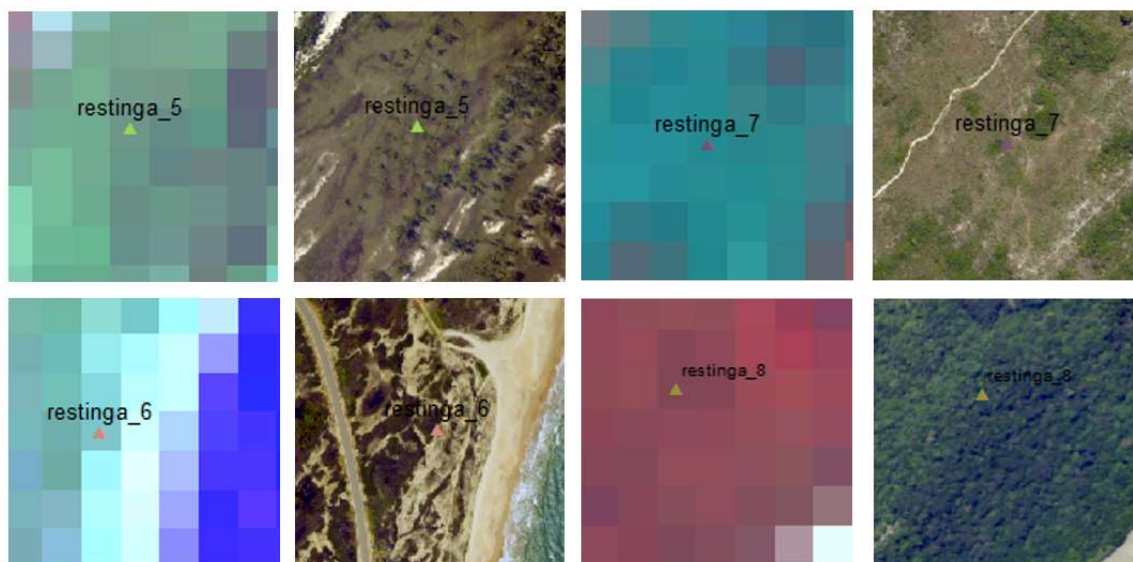


Figura 3. Amostras de treinamento da restinga, herbácea de interior: restinga_5, herbácea de praia: restinga_6, herbácea de interior próximo ou sobre dunas: restinga_7, arbórea-arbustiva próxima ou sobre dunas: restinga_8. Esquerda: imagem Landsat-8 R5G6B2; direita: imagem aerolevantamento da SDE (Santa Catarina, 2012).

Todos os processamentos dos arquivos em formato *raster* e vetor foram realizados nos aplicativos ArcGis/ArcMap 10.7 e *Google Earth*

Engine (Google LLC, 2022), na projeção cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM) e *Datum* WGS84.

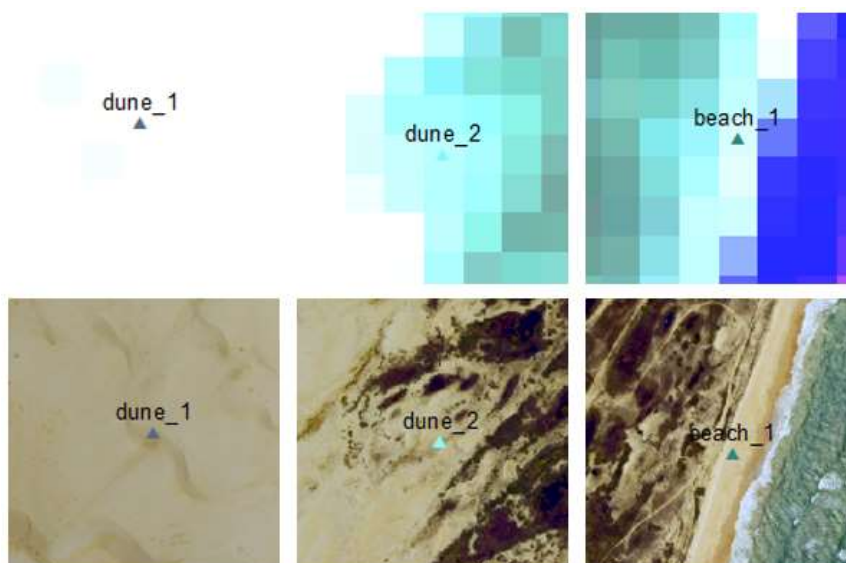


Figura 4. Amostras de treinamento de duna: dune_1 e dune_2 e praia: beach_1. Acima: imagem Landsat-8 R5G6B2; abaixo: imagem aerolevantamento da SDE (Santa Catarina, 2012).

Resultados e discussão

Áreas potenciais de restinga

As áreas potenciais de restinga encontradas correspondem a 1,82% do território catarinense, somando 173.380 hectares (Tabela 1). Grande parte da área total foi classificada como “potencial alto para restinga” (50,3%) e “potencial muito alto

para restinga” (37,3%), enquanto áreas de “transição” somaram 12,3%.

Entre as combinações das classes dos atributos das camadas geográficas analisadas (topografia, hidrogeologia, geomorfologia, pedologia, geodiversidade), as combinações com as maiores extensões foram (i) Altitude < 40 m – Depósitos Litorâneos – Marinho – Espodossolo cárbico – Planícies Costeiras (23.929,4 ha) e (ii)

Nicoletti, A. L., Vibrans, A. C., Andrade, M. Y., Veiga, J. L., Bizon, A. R., Silva, M. S., Lingner, D. V., Farias, T. L.

Altitude < 40 m – Aluviões – Marinho – Neossolo Quartzarênico/Areias Quartzosas Marinhas – Planícies Costeiras (18.914,720 ha), ambas da categoria “potencial alto”. As combinações com as maiores extensões da categoria “potencial muito alto” foram (iii) Altitude < 40 m – Depósitos Litorâneos – Marinho – Neossolo Quartzarênico/Areias Quartzosas Marinhas – Planícies Costeiras (17.004,497 ha) e (iv) Altitude < 40 m – Depósitos Litorâneos – Eólico – Dunas e Areias das praias –

Campos de Dunas (10.873,988 ha). Essas quatro combinações representam 40,8% do total das áreas potenciais de restinga.

A Região Norte mostrou a maior área potencial de restinga (45% do total), seguida pela Região Sul (30,9%) e Região Central (23,6%). A área da categoria “potencial muito alto” foi maior na Região Sul, enquanto a da categoria “potencial alto” foi maior da Região Norte (Figura 5).

Tabela 1. Categorias de potencial para restinga em Santa Catarina (SC), de acordo com fatores topográficos, hidrogeológicos, geomorfológicos, edáficos e geodiversos.

Categoria	Área (ha)	Percentual de SC	Percentual da Área Potencial
Potencial Muito Alto	64.693,1	0,68	37,31
Potencial Alto	87.280,9	0,92	50,34
Transição	21.405,3	0,23	12,35
Total	173.379,3	1,82	100,0

O mapa fitogeográfico de Santa Catarina proposto por Klein (1978) sugere uma extensão territorial de 1.999,05 km² para a vegetação litorânea (Vibrans et al., 2012), incluídas as formações de mangue, restinga e dunas. No

presente estudo, encontramos 1.733,8 km² como área total potencial de restinga, sem incluir a vegetação de mangue; isso pode explicar a diferença encontrada em relação ao mapa de Klein (1978).

Comparando os resultados das quatro versões, foram encontradas áreas totais similares, variando entre 59.336 e 64.693 ha na categoria “potencial muito alto” e entre 82.099 e 87.281 ha na categoria “potencial alto” (Figura 6). Na categoria “transição”, a variação foi entre 21.405 ha (versão 1) e 71.505 ha (versão 3). Pelo fato dessa categoria representar a transição entre restinga e não-restinga, a seleção de todos os polígonos de uma mesma combinação, proposta nas versões 2, 3 e 4, aumentou substancialmente a área total desta categoria.

O mesmo comportamento foi observado em relação ao número de polígonos das quatro versões (Figura 7). A diferença encontrada entre a versão 1 e as demais versões em relação às categorias de potencial “muito alto” e “alto” se deve aos polígonos incorporados à categoria do polígono vizinho (“muito alto” ou “alto”), a fim de manter a continuidade de polígonos e suavizar feições geográficas, além da atribuição de polígonos menores que 100 m² à categoria majoritária do entorno.

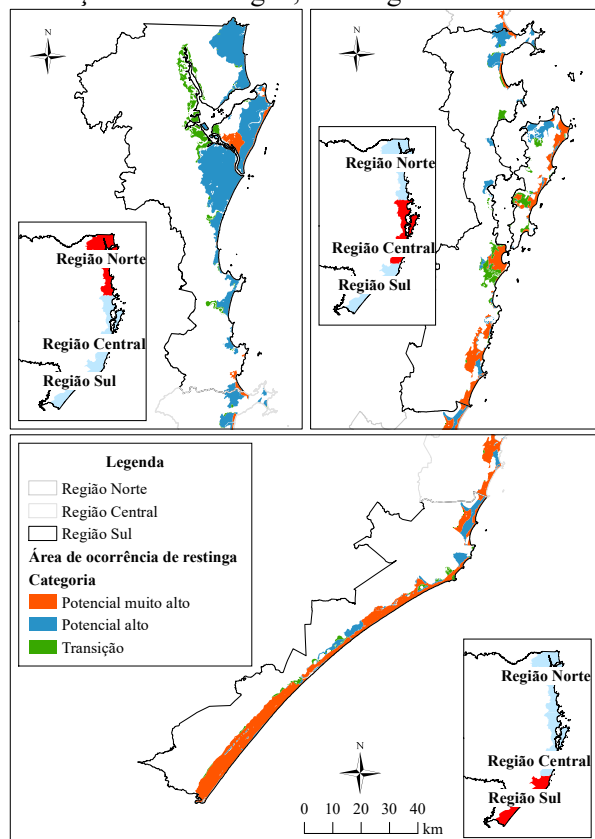


Figura 5. Áreas potenciais de restinga na costa catarinense, por categoria e região.

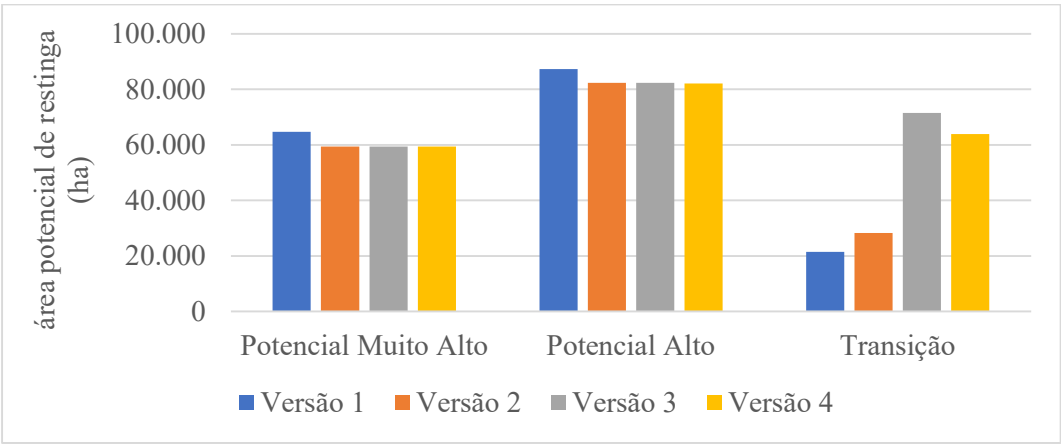


Figura 6. Área potencial de restinga de acordo com a versão e a categoria, em hectares.

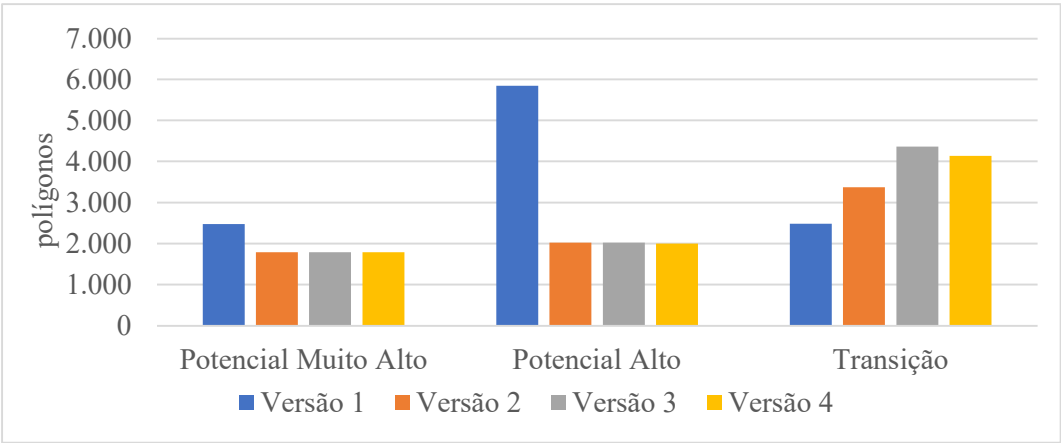


Figura 7. Quantidade de polígonos da área potencial de restinga de acordo com a versão e a categoria.

Resultados da validação das áreas potenciais de restinga

Os índices de validação foram computados em matrizes de confusão binárias, confrontando os dados de referência do MonitoraSC e os dados dos mapeamentos da área potencial, versões 1 a 4 (Tabela 2).

Os erros de omissão da classe “restinga” na versão 1 (260) foram causados, na maioria, por 153

pontos localizados em areias de praia fora da delimitação do limite territorial de Santa Catarina (arquivo vetorial), sendo assim considerados no mapa áreas de “não restinga”. Caso estes 153 pontos fossem considerados acertos, a acurácia geral das quatro versões aumentaria 1%.

Tabela 2. Matriz de confusão dos pontos de controle para avaliação da acurácia das quatro versões dos mapeamentos das áreas potenciais.

Mapa Versão 1	Classe			Mapa Versão 2	Classe		
	não restinga	restinga	Total		não restinga	restinga	Total
não restinga	11.443	260	11.703	não restinga	11.394	570	11.964
restinga	13	3.332	3.345	restinga	62	3.022	3.084
Total	11.456	3.592	15.048	Total	11.456	3.592	15.048

Mapa Versão 3	Classe			Mapa Versão 4	Classe		
	não restinga	restinga	Total		não restinga	restinga	Total
não restinga	11.116	495	11.611	não restinga	11.202	495	11.697
restinga	340	3.097	3.437	restinga	254	3.097	3.351
Total	11.456	3.592	15.048	Total	11.456	3.592	15.048

A versão 1 apresentou a maior acurácia geral (98,2%) (Tabela 3), a qual se mostrou significativamente maior que as acurácias das demais versões ($\alpha = 0,05$) de acordo com o teste Z (Congalton & Green, 1999). As acurácias de produtor e de usuário e índice Kappa da versão 1 também foram maiores que as das demais versões (2, 3, 4). Esse resultado evidencia a importância da avaliação e da edição manual de mapas gerados

com técnicas automatizadas em ambientes complexos e com diversidade de feições geográficos e de vegetação. Os erros de comissão acima de 5% encontrados em todas as versões para a classe “restinga” indicaram que as áreas potenciais desta classe podem ter sido levemente superestimadas. As demais versões não apresentaram diferenças significativas de acurácia geral entre si, variando entre 94,5 e 95,8%.

Tabela 3. Índices de validação das quatro versões do mapeamento das áreas potenciais de restinga em SC, de acordo com fatores topográficos, hidrogeológicos, geomorfológicos, edáficos e geodiversos, baseados em 15.048 pontos de controle analisados.

Índice	Versão 1	Versão 2	Versão 3	Versão 4
Acurácia Geral	0,982	0,958	0,945	0,950
Índice Kappa	0,949	0,878	0,845	0,860
Estatística Z (0,05) (c/ versão 1)	-	12,53	17,23	15,25
Classe Restinga				
Acurácia de Produtor	0,928	0,841	0,862	0,862
Erro de Comissão	0,072	0,159	0,138	0,138
Acurácia de Usuário	0,996	0,980	0,901	0,924
Erro de Omissão	0,004	0,020	0,099	0,076
Classe Não Restinga				
Acurácia de Produtor	0,999	0,995	0,970	0,978
Erro de Comissão	0,001	0,005	0,030	0,022
Acurácia de Usuário	0,978	0,952	0,957	0,958
Erro de Omissão	0,022	0,048	0,043	0,042

A Figura 8 mostra as áreas potenciais de restinga, de acordo com as versões 1 a 4. A região Norte (A) apresentou pouca divergência entre as versões, enquanto a região central (B) mostrou divergências maiores nos municípios de Tijucas, São José e Palhoça (C). A maior divergência entre as versões foi observada na região Sul (D), compreendendo todos os municípios desta região. Nesta região, ocorreram combinações que incluem o Neossolo Quartzarênico - Areias Quartzosas Vermelho-Amarelos, que não foram consideradas propícias para a ocorrência de restinga, devido à sua origem interiorana e não marinha.

Áreas remanescentes da restinga

Os resultados do mapeamento do uso e cobertura da terra dentro do perímetro das áreas

potenciais de restinga para ano de 2017 constam na Tabela 4. A área de restinga encontrada foi de 72.534,2 ha (41,8%) e de praia e duna foi de 7.097 ha (4,09%); juntas, estas duas classes representam 45,9% da área potencial de restinga. A classe temática "pastagem ou campo natural" ocupou 23,2%, seguida da classe "área construída ou urbanizada" com 18,5%. A classe "reflorestamento" também se destacou, com aproximadamente 9% das áreas potenciais de restinga.

Sobrepondo as áreas potenciais de restinga (com potencial muito alto, alto e transição) ao mapa de uso e cobertura da terra, foi possível computar a participação de cada classe de uso da terra em cada categoria de potencial (Tabela 4; Figuras 9 e 10).

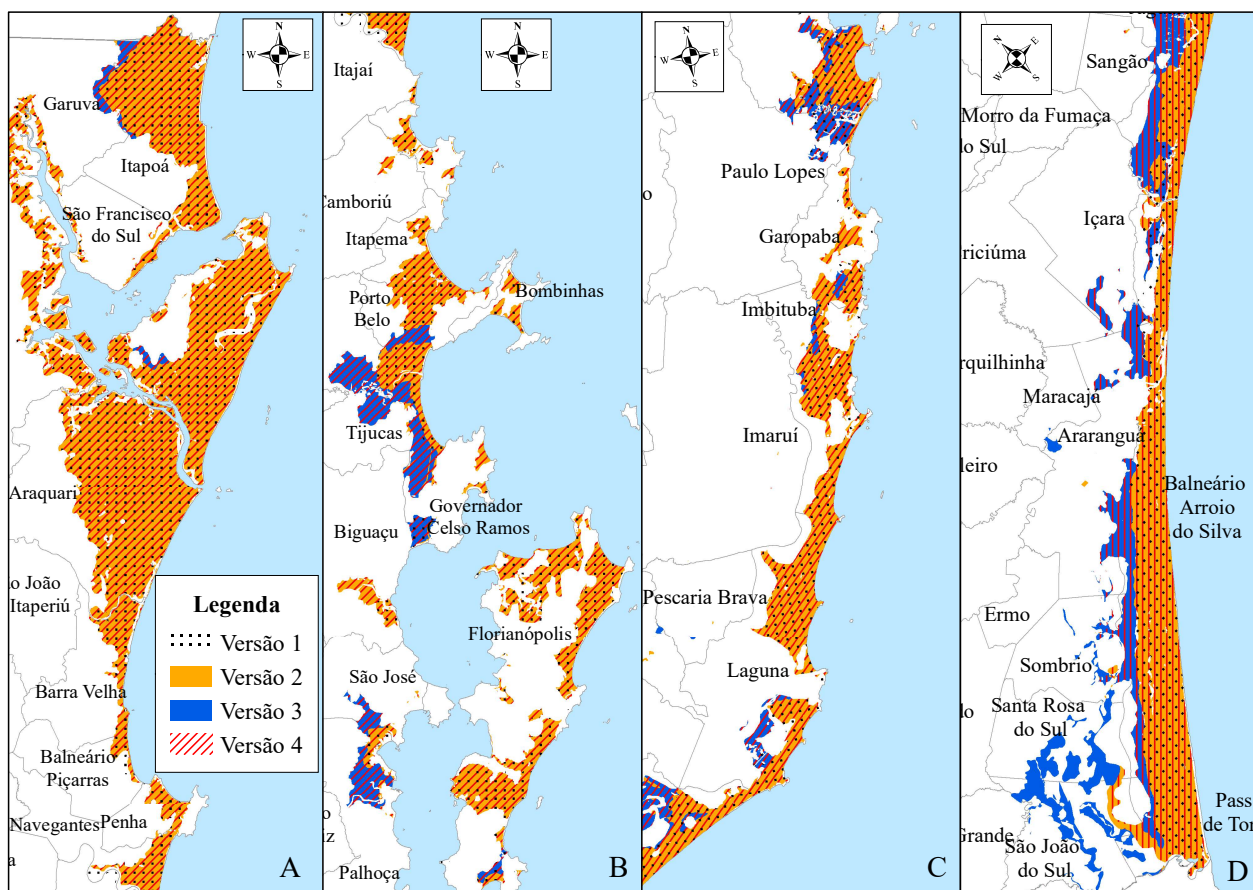


Figura 8. Área potencial de restinga na costa catarinense, de acordo com as versões 1 a 4: A) Região Norte; B) Região Norte-Central; C) Região Central-Sul; D) Região Sul.

Tabela 4. Uso e cobertura da terra de acordo com o mapeamento MonitoraSC nas três categorias (muito alto, alto, transição) de área potencial de restinga.

Uso e cobertura da terra	Potencial muito alto		Potencial alto		Transição		Total	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Agricultura	297,9	0,46%	283,8	0,33%	37,1	0,17%	618,8	0,36%
Área construída ou urbanizada	13.199,7	20,4%	16.128,8	18,5%	2.752,4	12,9%	32.080,8	18,5%
Arroz irrigado	123,1	0,19%	407,4	0,47%	558,2	2,61%	1.088,7	0,63%
Corpos d'água	90,5	0,14%	196,8	0,23%	86,5	0,40%	373,8	0,22%
Floresta nativa	175,5	0,27%	542,7	0,62%	450,6	2,11%	1.168,9	0,67%
Mangue	0,3	0,00%	3,6	0,00%	1,1	0,01%	5,0	0,00%
Outra vegetação não florestal	714,4	1,10%	751,3	0,86%	489,0	2,28%	1.954,7	1,13%
Pastagem ou campo natural	16.705,3	25,8%	16.914,2	19,4%	6.580,5	30,7%	40.200,0	23,2%
Praia e duna	5.482,9	8,48%	1.440,9	1,65%	173,2	0,81%	7.097,0	4,09%
Reflorestamento	10.868,9	16,8%	3.853,9	4,42%	828,4	3,87%	15.551,2	8,97%
Restinga	16.801,6	26,0%	46.365,3	53,1%	9.367,3	43,8%	72.534,2	41,8%
Solo exposto ou mineração	233,1	0,36%	392,3	0,45%	80,7	0,38%	706,2	0,41%
Total	64.693,1	100%	87.280,9	100%	21.405,3	100%	173.379,3	100%

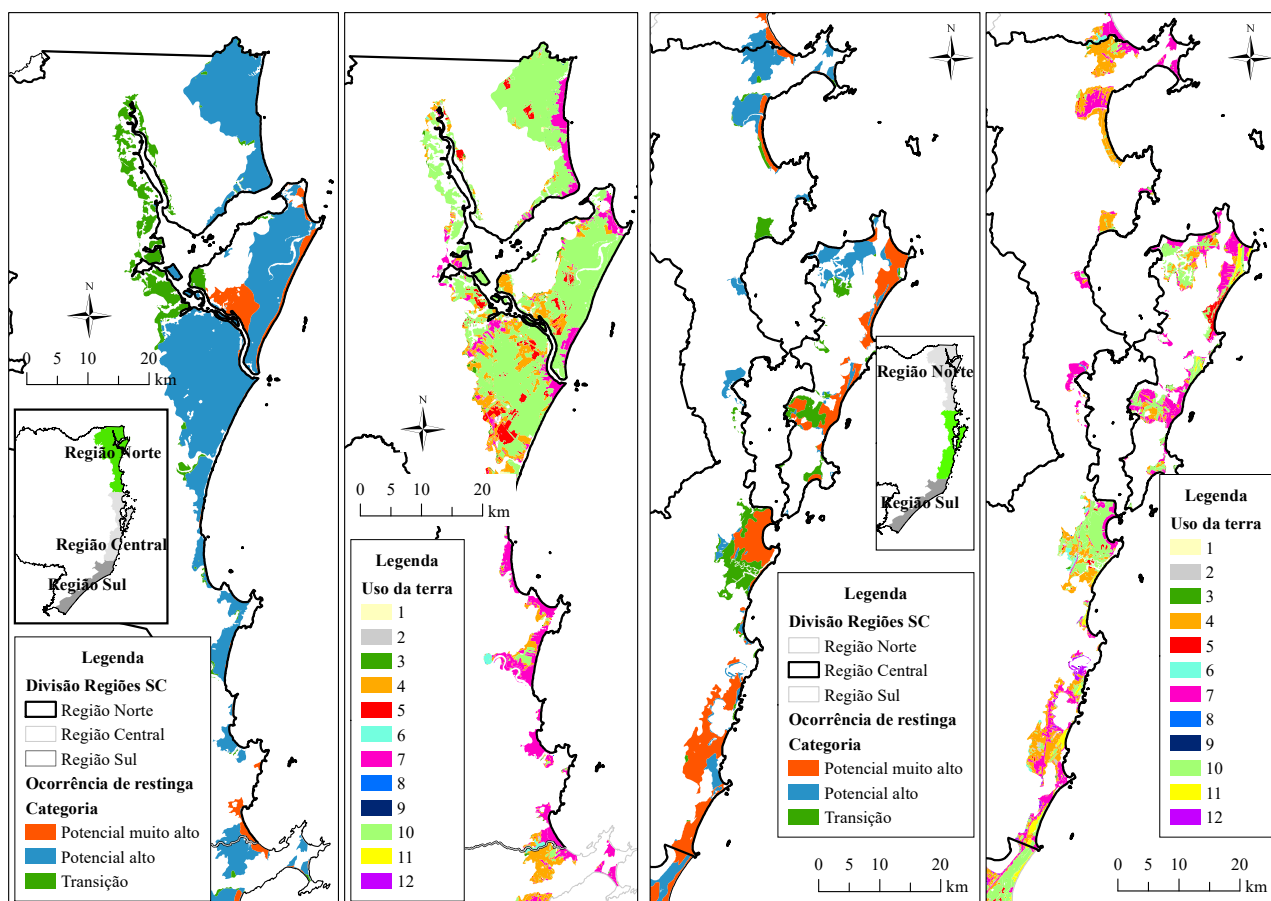


Figura 9. Áreas potenciais de restinga (esquerda) e uso e cobertura da terra (direita) de acordo com o mapeamento MonitoraSC nas Regiões Norte e Central. Legenda: 1-Agricultura, 2-Solo exposto ou mineração, 3-Floresta nativa, 4-Pastagem ou campo natural, 5-Reflorestamento, 6-Arroz irrigado, 7-Área construída ou urbanizada, 8-Corpos d'água, 9-Mangue, 10-Restinga, 11-Praia e duna, 12-Outra vegetação não florestal.

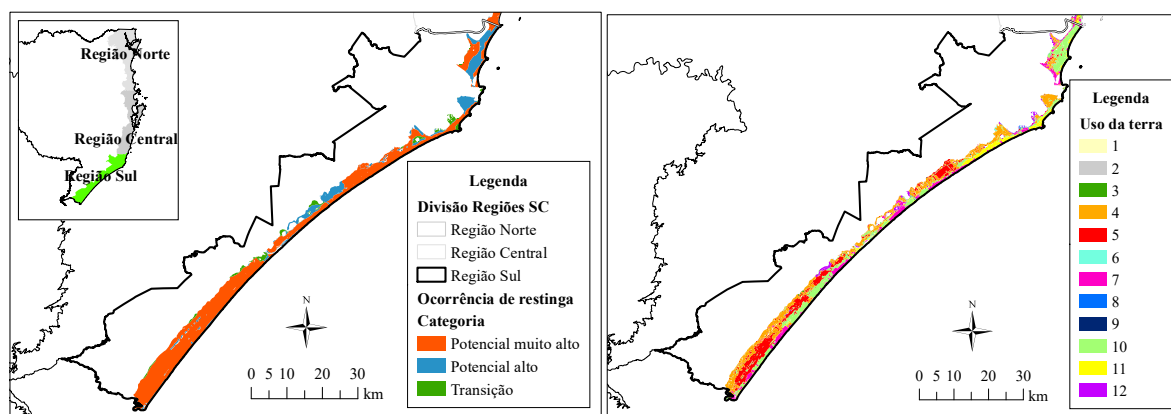


Figura 10. Áreas potenciais de restinga (esquerda) e uso e cobertura da terra (direita), de acordo com o mapeamento MonitoraSC na Região Sul. Legenda: 1-Agricultura, 2-Solo exposto ou mineração, 3-Floresta nativa, 4-Pastagem ou campo natural, 5-Reflorestamento, 6-Arroz irrigado, 7-Área construída ou urbanizada, 8-Corpos d'água, 9-Mangue, 10-Restinga, 11-Praia e duna, 12-Outra vegetação não florestal.

Na Região Norte, os remanescentes de restinga e praia e duna correspondem a 28,3% de toda a área potencial de restinga do estado (Tabela 5). Áreas construídas ou urbanizadas correspondem a ~7% da área potencial de restinga do estado tanto na Região Norte como na Região

Central; de fato, há uma maior concentração da população nessas regiões comparada à Região Sul (Tabela 5), induzida pelo processo de conurbação dos núcleos urbanos (Pereira, 2011). Na última, há maiores áreas de praia e duna e reflorestamento em comparação às Regiões Norte e Central.

Reflorestamentos em áreas de restinga também foram detectados em outras regiões do Brasil,

como no litoral sul do estado da Bahia (Dias & Soares, 2008).

Tabela 5. Uso e cobertura da terra das áreas potenciais de restinga nas três regiões de Santa Catarina, em hectares (ha) e percentuais da área total de cada região e da área potencial (173.379,3 ha).

Classe de uso e cobertura da terra	Região Norte			Região Central			Região Sul			Total
	Área (ha)	% do total da região	% do total geral	Área (ha)	% do total da região	% do total geral	Área (ha)	% do total da região	% do total geral	Área (ha)
Agricultura	125,3	0,16	0,07	60,5	0,15	0,03	433,0	0,81	0,25	618,8
Área construída ou urbanizada	12.831,1	16,2	7,40	12.715,9	31,1	7,33	6.533,8	12,2	3,77	32.080,8
Arroz irrigado	542,0	0,69	0,31	453,2	1,11	0,26	93,5	0,17	0,05	1.088,7
Corpos d'água	44,5	0,06	0,03	64,4	0,16	0,04	264,9	0,49	0,15	373,8
Floresta nativa	660,7	0,84	0,38	410,9	1,01	0,24	97,3	0,18	0,06	1.168,9
Mangue	3,3	0,00	0,00	1,7	0,00	0,00	-	0,00	0,00	5,0
Outra vegetação não florestal	-	0,00	0,00	583,4	1,43	0,34	1.371,3	2,56	0,79	1.954,7
Pastagem ou campo natural	11.331,4	14,3	6,54	12.715,1	31,1	7,33	16.153,6	30,2	9,32	40.200,0
Praia e duna	251,2	0,32	0,14	1.786,7	4,37	1,03	5.059,1	9,45	2,92	7.097,0
Reflorestamento	3.883,5	4,92	2,24	1.091,3	2,67	0,63	10.576,4	19,8	6,10	15.551,2
Restinga	48.969,3	62,0	28,2	10.727,6	26,3	6,19	12.837,3	24,0	7,40	72.534,2
Solo exposto ou mineração	332,7	0,42	0,19	254,2	0,62	0,15	119,2	0,22	0,07	706,2
Total Geral	78.975,0	100%	45,55%	40.864,8	100%	23,57%	53.539,5	100%	30,88%	173.379,3

Os remanescentes de restinga encontrados neste estudo totalizam 725,34 km², considerando a restinga arbórea, arbustiva, herbácea e herbácea alagada. Entre os mapeamentos temáticos (Projeto RADAMBRASIL, LCF/SAR, PROBIO, PPMA, Atlas dos Remanescentes da Mata Atlântica e Projeto MapBiomias) que apresentam dados sobre a classe restinga, o Atlas (Fundação SOS Mata Atlântica, 2017) obteve uma área mais próxima à área encontrada neste estudo. O Atlas mapeou 594,29 km² apenas de restinga arbórea. A legenda desse mapeamento ainda possui outro tema, “áreas naturais não florestais”, que inclui: áreas de formações pioneiras, campos naturais de altitude, refúgios vegetacionais, dunas, restinga herbácea, apicum, banhado e campo úmido. Somando as áreas dessa classe (embora não faça distinção entre as diversas áreas não florestais), chega-se a uma área total de 813,94 km² de restinga, próximo ao montante total de remanescentes de restinga e praia e duna (796,31 km²) encontrados no nosso estudo. Analisando os dados por região, percebe-se uma maior diferença entre os dois mapas na Região Central (Atlas: 76,92 km²; este estudo: 125,14 km²). Essa diferença pode estar relacionada a questões metodológicas e à diferença entre as legendas.

O projeto MapBiomias (2023), por sua vez, identificou restinga (arbórea, arbustiva e herbácea) em 974,78 km², dentro da área de estudo (Figura 1), portanto, aproximadamente 250 km² a mais que nosso estudo. Sobrepondo esta área de 974,78 km² à área potencial de restinga (Tabela 3, versão 1) constatamos que apenas 533 km² de restinga mapeada pelo MapBiomias, ou seja, 55% do total, encontra-se dentro dos limites da área potencial. Isto significa que os outros 45% da restinga mapeada pelo MapBiomias estão localizados fora da área potencial de restinga aqui proposta. Nas três regiões (Norte, Centro e Sul) foram encontrados polígonos de restinga a mais de 20 km da costa. Estes estão localizadas muito além dos limites da restinga sugeridas por Reitz (1961) e Klein (1978) nos seus extensos estudos da distribuição da vegetação em Santa Catarina e que servem de base até hoje.

Entre os municípios com as maiores áreas de remanescentes de restinga em relação as suas respectivas áreas potenciais, constam Itapoá (82,0%), Balneário Barra do Sul (72,7%), São Francisco do Sul (71,8%), Joinville (68,1%), Garuva (65,3%), Palhoça (54,7%), Laguna (54,4%) e Araquari (53,7%), sendo a maioria da Região Norte. Os municípios com menores percentuais de restinga são Biguaçu (9,84%), Itajaí (8,91%), São

José (8,46%), Penha (7,29%), Balneário Camboriú (6,31%), Tijucas (5,11%), Bombinhas (2,04%), Itapema (1,86%), Camboriú (0,0%) e Içara (0,0%), localizados nas regiões Norte e Central; esses municípios detêm maiores adensamentos populacionais (Pereira, 2011). É importante ressaltar que não foi possível identificar a área potencial de restinga em grandes centros urbanos, como São José e Florianópolis, devido à inexistência de informações das camadas geográficas em localidades urbanizadas há muito tempo. Evidenciamos que os remanescentes sofrem maior pressão na Região Central (onde restam apenas 30,67% de remanescentes de restinga, praias e dunas) e na Região Sul (26,92%) pelo avanço da urbanização, especulação imobiliária e de plantações florestais. Estas tendências também foram observadas por Dias e Soares (2008), Barcelos et al. (2012), Santos et al. (2022), Amorim et al. (2023) e Oliveira et al. (2023). Elas deveriam desencadear ações como a criação de áreas protegidas por Unidades de Conservação, como citado por Folharini et al. (2020) e Fortes e Dias (2023), e medidas efetivas de conscientização e educação ambiental das populações locais e da sociedade em geral (Santos et al., 2023).

Conclusões

Dos esforços empreendidos no desenvolvimento de metodologias replicáveis e baseadas em dados públicos, para preencher duas importantes lacunas acerca da extensão da restinga em Santa Catarina, isso é, (i) delimitação e validação da área potencial de restinga e (ii) identificação da área remanescente dessa formação, é possível concluir que:

1) Nossa proposta permitiu delimitar uma área total potencial de 1.733,8 km², nas quais as principais classes de atributos de cinco camadas geográficas coincidem e, desta forma, indicam locais propícios para a ocorrência de restinga. A validação do mapeamento dessas áreas resultou numa acurácia geral de 98,2%;

2) Em relação aos remanescentes de restinga, o mapeamento proposto resultou numa área total de 796,31 km², equivalente a 45,7% da área potencial, onde a restinga arbórea, arbustiva, herbácea com indício de alagamento ocupam 725,34 km² e praias e dunas ocupam 70,97 km²,

com uma acurácia do produtor de 96,83% e do usuário de 98,76%;

3) Tanto o mapeamento da área potencial como o de remanescentes representam uma linha base espacialmente explícita para uso em planejamento territorial, conservação, licenciamento e controle ambiental; esta base está fundamentada em sólidas e evidências independentes de topografia, hidrogeologia, geomorfologia, pedologia e geodiversidade, citadas na literatura (no caso da área potencial) e em diferenças de reflectância dos temas detectadas em imagens multiespectrais de média resolução espacial, suficientes para diferenciar, com grau de incerteza conhecido, áreas de restinga e de não restinga;

4) Em ambos os casos, métodos automatizados de classificação e de seleção e delimitação de polígonos, seguindo critérios objetivos, foram combinados com posterior interpretação visual e edição manual; isto levou ao aumento da acurácia dos mapeamentos e à correção de erros grosseiros que métodos automatizados, por vezes, geram, além de preencher áreas muito pequenas sem disponibilidade de informações;

5) Futuros esforços devem ser empregados i) ao mapeamento contendo o limite das diferentes formações dos remanescentes de restinga com uso de imagens de alta resolução espectral e espacial; ii) à implantação de ações eficazes de ordenamento do uso do solo na restinga e de conscientização e educação ambiental acerca do patrimônio que a restinga representa para todas as faixas das populações residentes nas regiões costeiras brasileiras.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDE/SC), Diretoria de Clima e Biodiversidade, pelo financiamento do MonitoraSC (convênio 2015TR001941) e à equipe do FlorestaSC (Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina) pelo apoio técnico; o segundo autor é apoiado por bolsa de pesquisa do CNPq (305199/2022-6). Os arquivos dos mapeamentos em formato *raster* e vetor, bem como outras informações estão disponíveis em <http://www.floresta.sc.gov.br>.

Referências

Amaral, D. D., Prost, M. T., Bastos, M. N. C., Costa Neto, S. V., Santos, J. U. M. 2008 Restingas do litoral amazônico, estados do Pará

Nicoletti, A. L., Vibrans, A. C., Andrade, M. Y., Veiga, J. L., Bizon, A. R., Silva, M. S., Lingner, D. V., Farias, T. L.

e Amapá, Brasil. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais, 3(1), 35-67. http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1981-81142008000100003&lng=pt

- Amorim, I. F. F., Silva, A. F. C., Amorim, G. S., Guterres, A. V. F., Almeida Jr., E. B. 2023. Descrição fitossociológica da comunidade herbácea das dunas de Curupu, Raposa, Maranhão. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 16(3), 1387-1396. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.3.p1387-1396>
- Araújo, D. S. D., & Lacerda, L. D. 1987. A natureza das restingas. *Ciência Hoje*, 6 (33), 42-48.
- Assis, A. M. D., Thomaz, L. D., Pereira, O. J. 2004. Florística de um trecho de floresta de restinga no município de Guarapari, Espírito Santo, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 18(1), 191-201. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062004000100016>
- Assis, M. A., Prata, E. M. B., Pedroni, F., Sanchez, M., Eisenlohr, P. V., Martins, F. R., Santos, F. A. M., Tamashiro, J. Y., Alves, L. F., Vieira, S. A., Piccolo, M. C., Martins, S. C., Camargo, P. B., Carmo, J. B., Simões, E., Martinelli, L. A., Joly, C. A. 2011. Florestas de restinga e de terras baixas na planície costeira do sudeste do Brasil: vegetação e heterogeneidade ambiental. *Biota Neotropica*, 11(2), 103-121. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032011000200012>
- Barcelos, M. E. F., Riguet, J. R., Silva, L. T. P., Ferreira Jr, P. F. 2012. Uma visão panorâmica sobre os solos das restingas e seu papel na definição de comunidades vegetais nas planícies costeiras do sudeste do Brasil. *Natureza on line*, 10 (2), 71-76. http://www.rmpceciologia.com/atlas/literatura/ART/Art_07A.pdf
- Boeger, M. R., Alves, L. C., Negrelle, R. R. B. 1998. Variações morfo-anatômicas dos folíolos de *Tapirira guianensis* Aubl. em relação a diferentes estratos da floresta. *Biotemas*, 11 (2), 7-38.
- Caris, E. A. P., Kurtz, B. C., Cruz, C. B. M., Scarano, F. R. (2013). Vegetation cover and land use of a protected coastal area and its surroundings, southeast Brazil. *Rodriguésia*, 64(4), 747-755. <https://doi.org/10.1590/S2175-78602013000400006>
- Coelho, M. R., Martins, V. M., Vidal-Torrado, P., Souza, C. R. G. 2010. Relação solo-relevo-substrato geológico nas restingas da planície costeira do estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34(3), 833-846. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000300025>
- Congalton, R., & Green, K. 1999. Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices. CRC/Lewis Press, Boca Raton, FL.
- Correia, B. E. F., Almeida Jr., E. B., Zanin, M. 2020. Key points about North and Northern Brazilian restinga: A review of geomorphological characterization, phytophysiological classification, and studies' tendencies. *The Botanical Review*, 86, 329-337. <https://doi.org/10.1007/s12229-020-09230-2>
- Cruz, C. B. M., & Vicens, R. S. 2007. Levantamento da Cobertura Vegetal Nativa do Bioma Mata Atlântica. Relatório Final. Rio de Janeiro: IESB/IGEO/UFRJ/UFF. 84 p.
- Dias, H. M., & Soares, M. L. G. 2008. As fitofisionomias das restingas do município de Caravelas (Bahia-Brasil) e os bens e serviços associados. *Boletim Técnico-Científico do CEPENE*, 16(1), 59-74. <https://www1.icmbio.gov.br/cepene/images/stories/publicacoes/btc/vol16/art05-vol16.pdf>
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2004). Solos do Estado de Santa Catarina. Apoio Empresa de Pesquisa e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI). Rio de Janeiro: Embrapa Solos, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 46, 745 p.
- Enunciado nº 4, de 13 de setembro de 2022. (2022, 13 de setembro). Fornece uma ferramenta de trabalho que possa facilitar a interpretação técnica, buscando identificar qual a caracterização adequada da vegetação de restinga, aos preceitos das Resoluções do CONAMA no 261/1999 e 417/2009. Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina (IMA). <https://in.ima.sc.gov.br/enunciado/downloadPDF/3>
- Falkenberg, D. B. (1999). Aspectos da flora e da vegetação secundária da restinga de Santa Catarina, Sul do Brasil. *Insula, Revista de Botânica*, 28, 1-30.
- Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D., Alsdorf, D. 2007. The Shuttle Radar Topography Mission. http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/SRTM_paper.pdf
- Folharini, S. O., Oliveira, R. C., Furtado, A. L.S. 2020. Unidades geoambientais do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, litoral norte fluminense. *Revista do Departamento de Geografia*, 39, 154-168. <https://doi.org/10.11606/rdg.v39i0.156779>
- Fortes, I. B., & Dias, J. M. M. 2023. A importância da educação ambiental para a conscientização
- Nicoletti, A. L., Vibrans, A. C., Andrade, M. Y., Veiga, J. L., Bizon, A. R., Silva, M. S., Lingner, D. V., Farias, T. L.

- das populações no entorno de Unidades de Conservação: o caso do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba. *Revista Brasileira de Educação Ambiental*, 18(4), 148-170. <https://doi.org/10.34024/revbea.2023.v18.14484>
- Fundação S.O.S. Mata Atlântica. Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica, 2017. Relatório Técnico período 2015–2016. Fundação S.O.S. Mata Atlântica / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São Paulo. 60 p.
- Geoambiente 2008. Mapeamento Temático Geral do Estado de Santa Catarina: Projeto de Proteção da Mata Atlântica em Santa Catarina (PPMA/SC). Relatório Técnico. Geoambiente Sensoriamento Remoto Ltda. São José dos Campos. 90 p.
- Gomes, F. H., Vidal-Torrado, P., Macías, F., Gherardi, B., Perez, X. L. O. 2007. Solos sob vegetação de restinga na ilha do Cardoso (SP). I - Caracterização e Classificação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31(6), 1563-1580. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000600033>
- Google LLC. 2022. Google Earth Engine. <https://developers.google.com/earth-engine>
- Inague, G. M., Zwiener, V. P., Marques, M. C. M. 2021. Climate change threatens the woody plant taxonomic and functional diversities of the Restinga vegetation in Brazil. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 19(1), 53-60. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2020.12.006>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2009. Manual Técnico de Geomorfologia. IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. – 2. ed. - Rio de Janeiro: IBGE.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2012. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. 2ª Edição revista e ampliada. IBGE: Rio de Janeiro, 271p.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2016. Brasil: uma visão geográfica e ambiental no início do século XXI / Recursos naturais e questões ambientais. Figueiredo, A.H. (org). Rio de Janeiro: IBGE, Coordenação de Geografia, 435p.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2018. Cartas sobre Geomorfologia do Brasil, escala 1:250.000, versão 2018. <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/geomorfologia/10870-geomorfologia.html?=&t=downloads>
- Jiang, Z., Huete, A. R., Didan, K., Miura, T. 2008. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. *Remote Sensing of Environment*, 112 (10), 3833-3845. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.06.006>
- Joly, C. A., Assis, M. A., Bernacci, L. C., Tamashiro, J. Y., et al. (2012). Florística e fitossociologia em parcelas permanentes da Mata Atlântica do sudeste do Brasil ao longo de um gradiente altitudinal. *Biota Neotropica*, 12(1), 125-145. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032012000100012>
- Klein, R. M. 1978 Mapa fitogeográfico do estado de Santa Catarina. Flora Ilustrada Catarinense, 5, Itajaí: SUDESUL, FATMA, HBR.
- Klein, A. S., Citadini-Zanette, V., Santos, R. 2007. Florística e estrutura comunitária de restinga herbácea no município de Araranguá, Santa Catarina. *Biotemas*, 20(3), 15-26. <https://periodicos.ufsc.br/index.php/biotemas/article/view/20663>
- Korte, A., Gasper, A. L., Kruger, A., Sevegnani, L. 2013. Composição florística e estrutura das restingas em Santa Catarina. In A. C. Vibrans, L. Sevegnani, A. L. Gasper, D. V. Lingner (Eds.), *Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina: Floresta Ombrófila Densa (Vol.4, pp 285-309)*. Edifurb, Blumenau.
- Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. (2006, 26 de dezembro). Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/111428.htm
- Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. (2012, 28 de maio). Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm
- Lei nº 16.342, de 21 de janeiro de 2014. (2014, 22 de janeiro). Altera a Lei nº 14.675, de 2009, que institui o Código Estadual do Meio Ambiente e estabelece outras providências. *Diário Oficial de Santa Catarina*. http://leis.alesec.sc.gov.br/html/2014/16342_2014_Lei.html
- Lei nº 18.350, de 27 de janeiro de 2022. (2022, 27 de janeiro). Altera a Lei nº 14.675, de 2009, que “Institui o Código Estadual do Meio Ambiente e estabelece outras providências”, e adota outras
- Nicoletti, A. L., Vibrans, A. C., Andrade, M. Y., Veiga, J. L., Bizon, A. R., Silva, M. S., Lingner, D. V., Farias, T. L.

- providências. Diário Oficial de Santa Catarina. http://leis.ale.sc.gov.br/html/2022/18350_2022_lei.html
- Martins, C. 2019. Usos e pressões sobre as praias e dunas – caso de estudo na costa leste da ilha de Santa Catarina, SC, Brasil [Dissertação de Mestrado em Oceanografia, Universidade Federal de Santa Catarina]. Repositório Institucional da UFSC. <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/214835>
- Melo Júnior, J. C. F., & Boeger, M. R. T. (2015). Riqueza, estrutura e interações edáficas em um gradiente de restinga do Parque Estadual do Acaraí, Estado de Santa Catarina, Brasil. *Hoehnea* 42 (2), 207-232. <https://doi.org/10.1590/2236-8906-40/2014>
- Melo Júnior, J. C. F., Ferrari, A., Gern, A. F., Daniel, A., Maia, A. C., et al. 2017. Fitossociologia comparada da comunidade herbáceo-subarbusciva de restinga em duas geoformas de dunas na planície costeira de Santa Catarina. *Acta Biológica Catarinense*, 4(2), 5-15. <https://periodicos.univille.br/ABC/article/view/411>
- Melo Júnior, J. C. F., & Boeger, M. R. T. 2018. Riqueza e estrutura de uma comunidade vegetal de dunas na planície costeira de Santa Catarina. *Iheringia Série Botânica*, 73(3), 290-297. <https://doi.org/10.21826/2446-8231201873306>
- NASA LP DAAC. National Aeronautics and Space Administration, Land Process Distributed Active Archive Center (2015). The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Collection User Guide. https://lpdaac.usgs.gov/documents/179/SRTM_User_Guide_V3.pdf
- Oliveira, E. V. S., Félix, G. J., Santos Neto, A. M., Landim, M. F. 2023. Composição florística e aspectos fitogeográficos de uma área de restinga em Santo Amaro das Brotas, SE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 16(3), 1511-1530. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.3.p1511-1530>
- Opolski-Neto, T., Melo Júnior, J. C. F. 2022. Influência das condições edáficas na composição florística e estrutural de uma comunidade de restinga sobre costão rochoso no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15(02), 1108-1127. <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/250367>
- Paz, D. F. 2016. Enquadramento legal da vegetação do litoral centro-norte de Santa Catarina. [Dissertação de Mestrado em Perícias Criminais Ambientais, Universidade Federal de Santa Catarina] Repositório Institucional da UFSC. <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/174433>
- Pereira, R. M. F. A. 2011. Expansão urbana e turismo no litoral de Santa Catarina: o caso das microrregiões de Itajaí e Florianópolis. *Interações*, 12(1), 101-111. <https://doi.org/10.1590/S1518-70122011000100010>
- Projeto MapBiomias. 2023. Coleção 7.1 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil ano base 2017, acessado em 01/08/2023 através do link: <http://mapbiomas.org>
- Radambrasil. Levantamento de Recursos Naturais. (Vol. 34). Rio de Janeiro: Projeto Radambrasil: IBGE, período 1973-1987.
- Reitz, R. 1961. Vegetação da zona marítima de Santa Catarina. *Sellowia*, 13, 17-115.
- Resolução CONAMA nº 261, de 30 de junho de 1999. (1999, 2 de agosto). Aprova como parâmetro básico para análise dos estágios sucessionais de vegetação de restinga, no estado de Santa Catarina. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Diário Oficial da União. http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=260
- Resolução CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002. (2002, 13 de maio). Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Diário Oficial da União. http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=299
- Resolução CONAMA nº 417, de 23 de novembro de 2009. (2009, 24 de novembro). Dispõe sobre parâmetros básicos para definição de vegetação primária e dos estágios sucessionais secundários da vegetação de Restinga na Mata Atlântica e dá outras providências. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Diário Oficial da União. http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=598
- Resolução CONSEMA nº 98, de 5 de maio de 2017. 2017, 6 de julho. Aprova, a listagem das atividades sujeitas ao licenciamento ambiental, define os estudos ambientais necessários e estabelece outras providências. Conselho Estadual de Meio Ambiente. Diário Oficial de Santa Catarina. <https://www.sde.sc.gov.br/index.php/biblioteca/consema/legislacao/resolucoes/2017/2212-resolucao-consema-n-98-2017/file>
- Nicoletti, A. L., Vibrans, A. C., Andrade, M. Y., Veiga, J. L., Bizon, A. R., Silva, M. S., Lingner, D. V., Farias, T. L.

- Ribeirinha, P. D., Silva, S. M. L., Sapienza, J. A., Netto, S. O. A. 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(2), 60-78.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.5548257>
- Rizzini, C. T. (1997). *Tratado de Fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos* (2ª edição). Âmbito Cultural Edições Ltda.
- Rogalski, L. D., & Araújo, A. C. 2005. Florula da Ilha de Moleques do Sul, Santa Catarina, Brasil. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, 9(1), 45-48.
<https://doi.org/10.14210/bjast.v9n1.p45-48>
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Scheel, J. A., Deering, D. W. 1974. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings, 3rd Earth Resource Technology Satellite (ERTS) Symposium*, 1, 48-62.
- Santa Catarina 2012. Relatório de Produção Final. Levantamento Aerofotogramétrico. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável. Florianópolis.
<http://sigsc.sc.gov.br/>
- Santos, R., Elias, G. A., Guislon, A. V., Zanoni, I. Z. 2017. Vegetação arbustivo-arbórea em uma restinga de Jaguaruna, litoral sul do Estado de Santa Catarina, Brasil. *Ambiente & Água*, 12(1), 99-111.
<https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1952>
- Santos, V. J., Silva, A. N. F., Silva, E. C. G., Almeida Jr., E. B., Zickel, C. S. 2022. Arranjo estrutural e diversidade do componente lenhoso da restinga em Caravelas, sul da Bahia, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15(03), 1371-1379.
<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/251570>
- Santos, C. R., Freitas, R. R., Medeiros, J. D. 2023. Participação social e retrocessos na proteção da vegetação de restinga no Brasil no período entre 1965 e 2021. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 61, 58-84.
<http://dx.doi.org/10.5380/dma.v61i0.81531>
- Schlickmann, M. B., Pereira, J. L., Vieira, G. R., Rocha, A. O., Martins, R. 2016. Levantamento florístico e parâmetros fitossociológicos da restinga na localidade de morro dos conventos, Araranguá-SC. *Revista Iniciação Científica*, 14(1), 40-51.
<https://periodicos.unesc.net/ojs/index.php/iniciacaocientifica/article/view/2675>
- Schlickmann, M. B., Ferreira, M. E. A., Varela, E. P., Pereira, J. L., Duarte, E., Luz, A. P. C., Nicoletti, A. L., Vibrans, A. C., Andrade, M. Y., Veiga, J. L., Bizon, A. R., Silva, M. S., Lingner, D. V., Farias, T. L., Dreyer, J. B. B., Silva, M. T. S., Pinto, F. M. P. 2019. Fitossociologia de um fragmento de restinga herbáceo-subarbusiva no sul do Estado de Santa Catarina, Brasil. *Hoehnea*, 46(2), 1-7.
<https://doi.org/10.1590/2236-8906-29/2018>
- Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de Santa Catarina (SAR). 2005. *Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina. Relatório do Projeto Piloto*. Florianópolis. (mimeo).
- Serviço Geológico do Brasil (CPRM). 2007. Mapa de domínios e subdomínios hidrogeológicos do Brasil: sistema de informações geográficas, escala 1:2.500.00. Rio de Janeiro.
- Serviço Geológico do Brasil (CPRM). 2010. Mapa geodiversidade do Brasil. Brasília, DF. Escala 1:500.000.
<https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/14712>
- Silva, R. M., Mehlig, U., Santos, J. U. M., Menezes, M. P. M. 2010. The coastal restinga vegetation of Pará, Brazilian Amazon: a synthesis. *Brazilian Journal of Botany*, 33 (4), 563-573.
<https://doi.org/10.1590/S0100-84042010000400005>
- Silva, M. M., & Melo Júnior, J. C. F. 2016. Composição florística e estrutural de uma comunidade herbáceo-arbustiva de restinga em Balneário Barra do Sul, Santa Catarina. *Revista Brasileira de Biociências*, 14(4), 207-214.
<https://seer.ufrgs.br/rbrasbioci/article/view/114654/61952>
- Souza, C. R. G., Lopes, E. A., Moreira, M. G. (2009). Coastal plain and low-medium slope sub-biomes: a new approach based on native vegetation-quaternary unit-soil associations. *Brazilian Journal of Ecology*, 8, 1-13.
- Souza, C. M., Jr., Shimbo, J. Z., Rosa, M. R., et al. 2020. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. *Remote Sensing*, 12(2735), 1-27.
<https://doi.org/10.3390/rs12172735>
- Tietz, A. L., Apel, R. P., Mouga, D. M. S. (2023). Caracterização de flora de restinga arbustivo-arbórea no sul de Santa Catarina, Brasil. *Acta Biológica Catarinense*, 10(2), 36-55.
<https://doi.org/10.21726/abc.v10i2.2056>
- Veloso, H. P., Rangel Filho, A. L. R., Lima, J. C. A. 1991. Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- Vibrans, A. C., Moser, P., Lingner, D. V., Gasper, A. L. 2012. Metodologia do Inventário Florís-

- tico Florestal de Santa Catarina. In A. C. Vibrans, L. Sevegnani, A. L. Gasper, D. V. Lingner (Eds.), *Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina: diversidade e conservação dos remanescentes florestais* (Vol. 1, pp. 31-63). Edifurb, Blumenau.
- Vibrans, A. C., McRoberts, R. E., Moser, P., Nicoletti, A. L. 2013. Using satellite image-based maps and ground inventory data to estimate the area of the remaining Atlantic forest in the Brazilian state of Santa Catarina. *Remote Sensing of Environment*, 130, 87-95. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.10.023>
- Vibrans, A. C., Nicoletti, A. L., Liesenberg, V., Refosco, J. C., Kohler, L. P. A., Bizon, A. R., Lingner, D. V., Bosco, F. D., Bueno, M. M., Silva, M. S., Pessatti, T. B. 2021. MonitoraSC: um novo mapa de cobertura florestal e uso da terra do estado de Santa Catarina. *Agropecuária Catarinense*, 34, 42-48. <https://doi.org/10.52945/rac.v34i2.1086>
- Viero, A. C., & Silva, D. R. A. 2016. Geodiversidade do estado de Santa Catarina. CPRM - Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade.