

MAPEAMENTO DA COBERTURA FLORESTAL DE SANTA CATARINA

Alexander Christian Vibrans¹, Adilson Luiz Nicoletti², Veraldo Liesenberg³, Julio Cesar Refosco¹, Luciana Pereira de Araújo Kohler⁴, Artur Ricardo Bizon⁵, Murilo Schramm da Silva², Marcus Moresco Bueno⁶, Débora Vanessa Lingner², Fernanda Dal Bosco⁶, Thales Bohn Pessatti⁶, Marlon Yuri Andrade⁶, Thuane Laís Farias⁶

¹Engenheiro Florestal, Dr., Universidade Regional de Blumenau - FURB, Rua São Paulo, 3250, Blumenau/SC, Brasil, e-mail: acv@furb.br, refosco@furb.br. ²Engenheiro (a) Florestal, MSc., FURB, e-mail: alnicoletti@furb.br, murilo.sch.silva@gmail.com, dlingner@furb.br. ³Engenheiro Florestal, Dr., UDESC, CAV, Av. Luís de Camões, 2090, Lages, SC, e-mail: veraldo.liesenberg@udesc.br. ⁴Bacharel em Ciência da Computação, MSc., FURB, e-mail: lpa@furb.br. ⁵Bacharel em Ciência da Computação, FURB, e-mail: abizon@furb.br. ⁶Engenheira (o) Florestal, FURB, e-mail: fbosco@furb.br, marcusboeno@gmail.com, marlonn.yuri@hotmail.com, thalesbohn@gmail.com, thuanelaif@gmail.com.

RESUMO

Mapeamentos proporcionam informações imprescindíveis fundamentais para a gestão territorial. Sinergias entre os dados de campo do Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina (IFFSC) e de recursos de sensoriamento remoto resultaram em um novo mapeamento de cobertura da terra de Santa Catarina. Imagens do satélite Landsat-8 OLI do ano de 2017 foram classificadas utilizando algoritmo *Random Forest*. A legenda é composta por 12 classes temáticas e a área mínima mapeada é de 0,5 ha. O mapa tem acurácia geral de 95±1,0%. A acurácia da classe floresta apresentou 96,2% com os pontos amostrais do IFFSC. A cobertura florestal nativa (florestas a partir do estágio médio de regeneração) resultou em 38,05% do território, reflorestamentos em 10,46%, agricultura em 16,73%. O mapeamento constitui a base para a tomada de decisão em atividades de planejamento e gestão territorial e servirá como linha-base para o monitoramento contínuo da extensão da cobertura florestal do estado.

Palavras-chave — Mapeamento temático, MonitoraSC, *Random Forest*, IFFSC.

ABSTRACT

Mappings provide essential information for territorial management. Synergies between field data from the Santa Catarina Forest Floristic Inventory (IFFSC) and remote sensing resources resulted in a new land cover mapping of Santa Catarina. Landsat-8 OLI images from the year 2017 were classified using a Random Forest algorithm. The legend is composed of 12 thematic classes and the minimum area mapped is 0.5 ha. The map has an overall accuracy of 95±1.0%. The accuracy of the forest class presented 96.2% with the IFFSC sampling points. Native forest cover (intermediate stage of regeneration or older) resulted in 38.05% of the territory, reforestation in 10.46%, agriculture in 16.73%. The map constitutes the basis for decision-making in land use planning and will serve as a baseline for the continuous forest cover monitoring in Santa Catarina.

Key words — *thematic mapping, MonitoraSC, Random Forest, IFFSC.*

1. INTRODUÇÃO

As florestas protegem bens preciosos que garantem a sobrevivência da humanidade, como mananciais de água, solo, flora e fauna; além disso, elas fixam e estocam o carbono atmosférico e regulam o clima. Os inventários florestais têm por finalidade obter dados qualitativos e quantitativos dos recursos florestais a serem utilizados no planejamento de atividades de manejo e conservação das florestas [1].

Inventários florestais abrangentes de grandes áreas necessitam do levantamento terrestre de variáveis da composição e da estrutura das florestas, usualmente obtidas por meio de amostragem sistemática, e do mapeamento da extensão territorial das diversas formações florestais, realizado por meio de técnicas de sensoriamento remoto [2], [3].

Santa Catarina carecia de informações detalhadas e atualizadas sobre a extensão da sua cobertura florestal para que periodicamente pudessem ser gerados dados sobre expansão e retração dos remanescentes florestais e demais usos da terra. O último mapeamento da cobertura florestal ocorreu em 2008 com imagens espectrais de 2005 [4]. Desde então, o estado continuava dependendo de iniciativas externas para conhecer a extensão de sua cobertura florestal.

Diante deste contexto, o presente trabalho tem como objetivos: i) abordar a metodologia utilizada na elaboração do mapa temático do projeto MonitoraSC, ii) apresentar os níveis de acurácia alcançados por tema, iii) apresentar as estimativas de áreas da cobertura florestal e dos demais usos da terra em Santa Catarina.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizadas imagens de reflectância ao nível de superfície, do sensor *Operational Land Imager* (OLI) do satélite Landsat-8, ano base 2017, apoiado por outros produtos com resoluções espacial e espectral diversas. Esta decisão foi motivada pelo fato de possibilitar a execução dos estudos por meio de análises temporais disponíveis pelo programa Landsat. Todos os arquivos utilizados e gerados, em formato *raster* ou vetor, foram georreferenciados, utilizando *Datum* WGS 84; os valores de área dos polígonos gerados de cada classe temática foram calculados adotando Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM).

Preliminarmente, estudos mostraram que o mapeamento de todo o território catarinense, por meio de um único processo de classificação, não atenderia os requisitos mínimos de detalhamento (uma escala compatível com aplicação local, em nível municipal), área mínima mapeada de 0,5 hectare e alto nível de acurácia do mapeamento. Diante disto, as classificações foram executadas separadamente para cada uma das cartas (aqui chamadas “folhas”) do Mapeamento Sistemático Brasileiro na escala 1:100.000, com área de aproximadamente 2.700 km² cada. Assim, foram realizadas 42 classificações independentes que compõem o mapeamento, tornando possível contemplar as particularidades regionais e locais.

As imagens foram classificadas utilizando o algoritmo de classificação supervisionada, *Random Forest* (RF) [5]. No entanto, as respectivas combinações de bandas utilizadas (bandas originais Landsat-8 e bandas artificiais), bem como os pontos (amostras) de treinamento do classificador e de validação dos resultados, são específicas de cada folha.

A legenda do mapeamento é composta por 12 classes temáticas. Algumas classes temáticas (floresta, reflorestamento, agricultura, pastagem) foram divididas para fins de caracterização espectral e classificação. Isto se fez necessário devido à heterogeneidade destas classes, em termos de densidade, idade e estágio de desenvolvimento, diferenças sazonais e outras características. Ao final do processo, as respectivas áreas das subclasses foram somadas, compondo o total da respectiva classe por folha e para todo o estado.

Classe Floresta: adotou-se o seguinte conceito da classe “floresta”: vegetação arbórea/arbustiva, com altura total média maior que 4 m e área basal maior que 8 m².ha⁻¹. Estes limiares coincidem com Resolução CONAMA 04/1994 [6], que caracterizam formações florestais no estágio médio da sucessão secundária ou em estágios mais avançados.

Classes Reflorestamento e Agricultura: são plantações florestais de espécies exóticas e de *Araucaria angustifolia*. Por outro lado, os plantios de erva-mate (*Ilex paraguariensis*), viticultura, fruticultura, horticultura e as lavouras mecanizadas anuais e bianuais, constam na classe “agricultura”.

Classe Pastagem e Campo Natural: áreas utilizadas pelo plantio de espécies de gramíneas, áreas de campos naturais,

áreas de “pasto sujo” com regeneração de plantas herbáceas e subarbustivas, pastagens com árvores de porte maior, mas dispersas.

Classe Restinga: remanescentes de restinga, abrangendo as formações restinga arbórea, arbustiva, herbácea, herbácea alagada, além de dunas e praias. As áreas de restinga foram mapeadas de acordo com os critérios topográficos, geomorfológicos, edáficos, geodiversificados e hidrogeológicos.

2.1. Classificação

O treinamento do algoritmo de classificação de todas as folhas foi implantado de forma aleatória com aproximadamente 90 mil pontos (pixels). Cada ponto foi posteriormente ampliado para uma janela de 3 x 3, ou seja, de 9 pixels. As classes: solo exposto, arroz irrigado, área urbanizada ou construída e mangue foram mapeadas separadamente e adicionadas à classificação final. Este procedimento permitiu maior eficácia da classificação, eliminando fontes de incertezas e má classificação (confusão) dos temas objetos do projeto.

Para cada folha, várias classificações (no mínimo quatro) foram executadas e suas acurácias comparadas, as quais foram calculadas a partir de uma matriz de erros, na qual foram tabulados, de forma cruzada, erros e acertos entre os dados de classificação e de referência terrestre. As classificações foram executadas com as 6 bandas originais do Landsat-8 OLI, com e sem correção topográfica computada pelo algoritmo SCS+C [7]. As diferentes bandas artificiais foram acrescentadas às análises conforme citadas em [8].

2.2. Pós-processamento e validação

Depois da classificação, uma detalhada verificação e eventual edição dos erros grosseiros de classificação foram realizadas por folha, em células de 5,2 x 3,5 km, numa escala de trabalho fixada em 1:20.000 com apoio de imagens de alta resolução espacial [9] e aplicativos online. Esta edição foi seguida de nova validação e análise de acurácia (pós-edição) do mapa. Foi aplicado um filtro espacial majoritário, configurado para eliminar pixels solitários das classes (com exceção da classe corpos d’água), mantendo todas as áreas maiores ou iguais a 5 pixels, o que resultou em uma área mínima mapeada de 4.500 m², ou seja, 0,5 hectare.

As duas validações (pré e pós-edição), utilizaram 30.804 pontos de controle, lançados aleatoriamente (± 730 pontos por folha), abrangendo todas as classes temáticas. O cômputo das acurácias pré-edição e pós-edição (resultado do mapeamento) seguiu o método desenvolvido por [10], que permite determinar a acurácia com intervalo de confiança para cada classe temática separadamente. Aos usuários é recomendada a visualização do mapeamento na escala de 1:50.000. Os procedimentos foram realizados nos ambientes: *Google Earth Engine*, R, Anaconda (*Python*), ENVI 5.5, *ArcGis/ArcMap* e *QGIS*.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Acurácia

No geral, a acurácia média das folhas classificadas foi de 94,96% com intervalo de confiança de 1,002%. Dessa maneira, a acurácia geral do mapeamento de Santa Catarina encontra-se no intervalo entre 93,96% e 95,96%, aplicado a um nível de probabilidade de 95% (alfa=0,05). Os valores de acurácia do produtor e do usuário por classe constam na Tabela 1. Em relação às 449 Unidades Amostrais (UA) da classe “floresta” do Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina (IFFSC) [11], o mapa MonitoraSC mostrou coincidência de 96,2%. Em poucos casos (17 entre 449), áreas com florestas do IFFSC foram atribuídas no mapa a outras classes que, em campo, muitas vezes ocorrem juntas com remanescentes florestais de menor densidade, em mosaicos de diferentes usos da terra (agricultura, pastagem, reflorestamentos).

A classificação supervisionada com uso do algoritmo RF, de forma compartimentada e independente em 50 folhas cartográficas no território catarinense, seguida de revisão e edição manual de possíveis erros na escala 1:20.000, permitiu elaborar um produto de consistência inédita.

3.2. Cobertura florestal e outros usos da terra

O mapa MonitoraSC detectou para o ano de 2017 uma cobertura florestal nativa (florestas em estágio médio de regeneração ou mais avançado) em 38,05% do território catarinense, reflorestamentos em 10,46%, agricultura em 16,73% (incluindo 1,77% de culturas de arroz irrigado) e pastagens e campos naturais em 29,24% (Tabela 2). Entre as regiões fitogeográficas, a cobertura floresta é de 47,79% na Floresta Ombrófila Densa; 33,91% na Floresta Ombrófila Mista e 29,11% na Floresta Estacional Decidual. Os reflorestamentos nestas áreas ocupam 7,37%, 12,89% e 5,58%, respectivamente (Tabela 2). Entre as mesorregiões, Grande Florianópolis (65,55%) e do Vale do Itajaí (54,15%) mostram os maiores valores de cobertura florestal e a mesorregião do Oeste Catarinense a menor (27,36%). A mesorregião Serrana apresenta o maior percentual de reflorestamento (13,7%).

Entre as 23 bacias hidrográficas do estado, seis mostram cobertura florestal menor que 30%, dez entre 30 e 50% e sete acima de 50%. Entre os municípios, um terço mostra cobertura florestal abaixo do desejável (>30%), 64 têm cobertura florestal menor que 20% e outros 50 mostram entre 20 e 30%. As maiores áreas de cultura do arroz irrigado foram encontradas em Meleiro (70,5%), Ermo (66,4), Forquilha (59,9%), Turvo (59,5%), Nova Veneza (34,1%), Maracajá (30,5%) e Capivari de Baixo (30,3%).

Deve ser destacado o ineditismo do mapeamento das classes arroz irrigado, área urbanizada ou construída e restinga em Santa Catarina. Da mesma forma, é preciso lembrar que, pela primeira vez, foi produzido um mapa

temático detalhadamente validado por edição visual em toda a sua extensão, na escala de 1:20.000.

Tema/classe	Acurácia de Produtor		Acurácia de Usuário	
	Acurácia média (%)	IC ± (%)	Acurácia média (%)	IC ± (%)
Agricultura	89,92	4,2	90,47	2,7
Arroz irrigado	94,12	4,3	97,58	1,3
Floresta	96,65	0,9	96,65	0,8
Reflorestamento	91,91	2,3	95,76	1,3
Pastagem/campo	92,39	2,2	93,95	1,2
Solo exposto/mineração	92,26	6,4	94,19	2,1
Corpos d'água	90,71	4,4	96,81	1,9
Área urbanizada ou construída	94,78	3,7	94,55	2,1
Restinga	96,83	3,0	98,76	1,1
Mangue	90,55	16,0	97,35	2,1

Tabela 1. Acurácia geral do mapeamento MonitoraSC e por classe, em percentual, com intervalo de confiança (IC) (alfa=0,05).

Em comparação com outros mapeamentos, o do Atlas da Fundação SOS Mata Atlântica [12] indica para o ano de 2017 uma cobertura florestal de 23,2% e o projeto MapBiomias [13] para o mesmo ano 43%, frente aos 38,05% do MonitoraSC. Este último supera também os valores de 28,9% a 36,8% de cobertura florestal gerados usando os pontos amostrais do IFFSC para computar estimativas assistidas por modelo (MAR), aplicadas a mapeamentos de 2001, 2005 e 2008 [14]. Reflorestamentos não foram contemplados pela Fundação SOS Mata Atlântica, enquanto o Projeto MapBiomias contabiliza 11,3% em Santa Catarina para o ano de 2017, frente aos 10,5% do MonitoraSC (Tabela 2). O mapeamento do projeto MonitoraSC foi elaborado com metodologia inovadora (semiautomática), documentada, transparente, replicável e de códigos abertos. Ele constitui a base para a tomada de decisão de agentes públicos envolvidos em atividades de planejamento e gestão territorial, licenciamento e controle ambiental, outorga de recursos hídricos, comercialização de certificados de crédito de carbono, implantação de esquemas de pagamento de serviços ambientais, entre outras. Da mesma forma, este mapeamento servirá como linha base para o monitoramento contínuo da extensão da cobertura florestal do estado.

O mapeamento do MonitoraSC referente ao ano de 2017 está disponível para visualização e download, nos formatos *raster* e *vetor* (*shapefile*), no *webserver* GeoNode, no endereço: <http://monitora.furb.br/>. Assim como as respectivas tabelas referentes ao uso e cobertura da terra dos municípios, bacias hidrográficas, micro e mesorregiões, entre outros.

5. CONCLUSÕES

O novo mapa de cobertura florestal e uso do solo, com ano base de 2017 revelou uma cobertura florestal nativa de 38% para Santa Catarina, incluídos todos os remanescentes com florestas em estágio médio e avançado de regeneração e florestas maduras, além de 10,5% de florestas plantadas.

Este novo mapa apresenta acuracidade de 95% para todas as 12 classes temáticas mapeadas, com um nível de probabilidade de 95% (alfa=0,05). Pela primeira vez, foram mapeadas em todo o estado as áreas de rizicultura irrigada e a área remanescente de restinga.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Tomppo, E., Gschwantner, T., Lawrence, M., McRoberts, R.E. *National Forest Inventories: Pathways for Common Reporting*. Springer, Heidelberg, Alemanha, 609p. 2010.
- [2] Köhl, M., Magnussen, S.S., Marchetti, M. *Sampling Methods, Remote Sensing and GIS Multiresource Forest Inventory*. Springer, Heidelberg, Alemanha, 372p. 2006.
- [3] Vidal, C., Alberdi, I., Hernández, L., Redmond, J.J. *National Forest Inventories*. Springer, Heidelberg, Alemanha, 845p. 2010.
- [4] Geoambiente. Mapeamento temático geral do estado de Santa Catarina: Projeto de Proteção da Mata Atlântica em Santa Catarina (PPMA/SC). *Relatório Técnico*. São José dos Campos, SP. 90p. 2008.
- [5] Breiman, L. Random Forests. *Machine Learning*, v.45, n.1, p.5-32, 2001.
- [6] BRASIL. CONAMA - *Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 4, de 4 de maio de 1994. Convalidada pela Resolução CONAMA nº 388/07 para fins do disposto na Lei 11.428, de 22 de dezembro de 2006.*
- [7] Soenen, S.A., Peddle, D.R., Coburn, C.A. SCS+C: A modified Sun-Canopy-Sensor topographic correction in forested terrain. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v.43, n.9, p.2148-2159, 2005.
- [8] 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. MonitoraSC: um novo mapa de cobertura florestal e uso da terra do estado de Santa Catarina. *Agropecuária Catarinense*, v. 34, p. 42-48. 2021.
- [9] Santa Catarina. Levantamento Aerofotogramétrico. Relatório de Produção Final. Florianópolis, SC, 218p. (Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável). 2012.
- [10] Olofsson, P., Foody, G.M., Herold, M., Stehman, S.V., Woodcock, C.E., Wulder, M.A. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment*, v.148, n.1, p.42–57, 2014.
- [11] Vibrans, A.C, Gasper, A.L., Moser, P., Oliveira, L.Z., Lingner, D.V., Sevegnani, L. Insights from a large-scale inventory in the southern Brazilian Atlantic Forest. *Scientia Agricola*, v.77, n.1, p.1-12, 2020.
- [12] Fundação S.O.S Mata Atlântica. Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica, período 2015–2016. *Relatório Técnico*. São Paulo, SP. 60p. (Fundação S.O.S. Mata Atlântica / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). 2017.
- [13] Projeto Mapbiomas. *Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso do Solo do Brasil*. São Paulo, SP, 2020. Disponível em: <https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-BR>. Acesso em: 05 nov. 2020.
- [14] Vibrans, A. C., McRoberts, R. E., Moser, P., Nicoletti, A. L. 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*, v.130, n.1, p.87-95, 2013.

Classe	Santa Catarina		Floresta Estacional Decidual		Floresta Ombrófila Densa		Floresta Ombrófila Mista	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Floresta natural	36.180,71	38,05	2.367,05	29,11	14.907,36	47,79	18.906,29	33,91
Reflorestamento	9.942,34	10,46	454,05	5,58	2.300,62	7,37	7.187,67	12,89
Agricultura	14.219,54	14,96	1.850,15	22,75	1.622,78	5,20	10.746,62	19,28
Arroz irrigado	1.683,38	1,77	-	-	1.650,66	5,29	32,72	0,06
Pastagem ou Campo Naturais	27.804,43	29,24	2.961,53	36,42	7.335,79	23,51	17.507,11	31,40
Solo exposto	355,73	0,37	2,68	0,03	87,30	0,28	265,76	0,48
Área urbanizada ou construída	2.453,35	2,58	128,77	1,58	1.623,84	5,21	700,73	1,26
Corpos d'água	1.398,54	1,47	368,36	4,53	624,04	2,00	406,14	0,73
Restinga	742,90	0,78	-	-	742,90	2,38	-	-
Praia e duna	71,61	0,08	-	-	71,61	0,23	-	-
Mangue	117,07	0,12	-	-	117,07	0,38	-	-
Outra veg. não florestal	112,48	0,12	-	-	112,48	0,36	-	-
Total	95.082,10	100	8.132,58	100	31.196,47	100	55.753,04	100

Tabela 2. Áreas por classe temática no estado e por região fitoecológica (KLEIN,1978), em km² em porcentagem (%).