



SEQUESTRO DE CARBONO: UM ESTUDO DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANOINHAS

Franco Schinato¹

RESUMO

A Bacia Hidrográfica do Rio Canoinhas (BHRC) ocupa uma superfície de 1.663km², representando cerca de 16% da área do Planalto Norte Catarinense (PNC). Esta região era originalmente coberta por ecossistemas naturais com predomínio da Floresta Ombrófila Mista (FOM), uma das formações do bioma Mata Atlântica. A Mata de Araucárias apresenta elevados níveis de biodiversidade e alta capacidade de produção de biomassa florestal, sendo que sua ampla abrangência resulta em grandes reservatórios de carbono. O objetivo deste estudo foi verificar a distribuição espacial do estoque de carbono na BHRC. Para isto foram gerados mapas de cobertura e uso dos solos da BHRC, utilizando imagens satelitais de média resolução espacial dos anos de 2006, ano de instauração da Lei da Mata Atlântica, e de 2014. A determinação dos estoques de carbono das coberturas foi realizada por meio de revisão de literatura científica. Finalmente, estes materiais foram utilizados para gerar mapas de distribuição espacial de estoque de carbono. Como resultados se verificou que as áreas com vegetação nativa aumentaram 7.290 hectares, representando uma variação de 11%. As superfícies de produção florestal com espécies exóticas aumentaram 950 hectares (8,5%), com diminuição no uso de espécies do gênero *Pinus*, e aumento de 519% nas áreas com espécies do gênero *Eucalyptus*. Com base nas informações geradas se pode evidenciar o papel dos dispositivos legais para conservação da vegetação nativa, bem como identificar as principais áreas de armazenamento de carbono na BHRC. O uso de técnicas de sensoriamento remoto se apresenta como uma ferramenta importante para análises espaciais de Serviços Ecossistêmicos (SE).

Palavras-chave: Serviços Ecossistêmicos. Sensoriamento Remoto. Mata de Araucárias.

CARBON SEQUESTRATION: A STUDY OF THE SPATIAL DISTRIBUTION IN THE RIO CANOINHAS WATERSHED

ABSTRACT

The Rio Canoinhas Watershed (RCW) covers a surface of 1,663km², representing about 16% of the Santa Catarina North Plateau area. These regions were originally covered by natural ecosystems with predominance of Mixed Rain Forest, one of the forestry formations from the Mata Atlântica biome. The Araucaria Forest presents high levels of biodiversity and high capacity of forestry biomass production, and its wide distribution results in large carbon pools.

¹Engenheiro Florestal, discente do curso de Especialização em Desenvolvimento Rural Sustentável do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - IFSC. Santa Catarina. Brasil. Universidad de la Republica - UDELAR. Facultad Agronomía – FAGRO. Montevideo. Uruguai. E-mail: francoschinato@hotmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2292-5605>

The objective of this research is to verify the spatial distribution of the carbon stocks in the RCW. For this, maps of land use land cover from RCW were generated, using medium spatial resolution satellite images for the years of 2006, year of establishment of the Mata Atlântica Law, and for 2014. The carbon stock determination for the covers were realized by scientific literature review. Finally, these materials were utilized to generate spatial distribution carbon pool maps. As results, it was verified that the areas with native vegetation increased about 7.290 hectares, what represents an increase of 11%. The surface of forestry production with exotic species increased approximately 950 hectares, with a diminution in the use of species from the gender *Pinus* and increase of 519% in areas covered by species from gender *Eucalyptus*. Based on the generated information it was possible to evidence the paper of legal provisions for native vegetation conservation, as well as to identify the main areas of carbon storage in the RCW. The use of remote sensing techniques presents itself as an important tool for spatial analysis of Ecosystem Services (ES).

Keys words: Ecosystem Services. Remote Sensing. Araucaria Forest.

INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica do Rio Canoinhas (BHRC) se encontra situada na região do Planalto Norte Catarinense (PNC), território que originalmente possuía sua área quase inteiramente coberta pela formação de Floresta Ombrófila Mista (FOM) (KLEIN, 1978; VIBRANS *et al.*, 2013), também conhecida como Mata de Araucárias, a qual se configura como uma das formações vegetais do bioma Mata Atlântica. Este ecossistema sofreu, especialmente ao longo do século XX, um intenso processo de exploração desordenada, o qual resultou em uma redução drástica de sua cobertura, passando de extensões de cerca de 200 mil km² para valores aproximados de 4.000 km², representando 2% da superfície original, a qual se encontra sob elevado grau de fragmentação (MEDEIROS, 2002; GUERRA *et al.*, 2002; PROCHNOW, 2009; ALARCON *et al.* 2011).

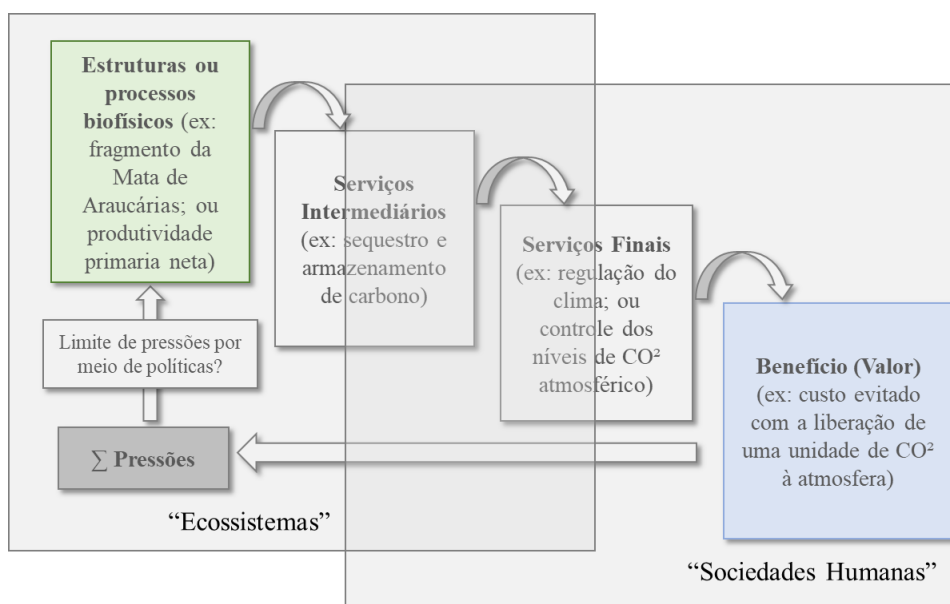
Ainda que a cobertura da formação florestal da Mata de Araucárias se estenda muito além do território do PNC, esta região foi cenário de alguns dos processos exploratórios mais acentuados sobre este ecossistema. Neste contexto, se pode destacar o ciclo econômico da madeira, empreendido ao longo da primeira metade do século XX, o que ocasionou uma forte redução das áreas com vegetação nativa primária. Além disto, esta formação seguiu sendo degradada por meio de sequentes explorações ao longo das décadas de 1950 até meados da década de 1980, devido a atividades de elevada quantidade de madeiras locais (GUERRA *et al.* 2002; MARQUES, 2007; TRES *et al.*, 2011).

A exploração da vegetação nativa centrada exclusivamente na obtenção de recursos madeiros implica na transformação imediata da forma de cobertura e uso dos solos. De acordo com Medeiros *et al.* (2005), na maioria das situações o uso subsequente destas áreas passa a formas alternativas com maior interesse econômico: se destinam a produção de cultivos agrícolas, a reflorestamentos com espécies exóticas, a zonas urbanas, a áreas de infraestrutura, entre outros. Contudo, os ecossistemas naturais, como a Mata de Araucárias, apresentam a característica de estarem evolutivamente adaptados às condições ambientais locais,

promovendo a formação de um conjunto de Serviços Ecossistêmicos² (ALARCON *et al.* 2016; PETRENTCHUK *et al.*, 2016). Entre os SE fornecidos em áreas da Mata de Araucárias, se podem destacar: a) Provisão: alimentos, água, recursos madeireiros, princípios ativos, recursos genéticos e recursos paisagísticos; b) Regulação: microclima, estoque de carbono, controle de doenças, controle de enchentes e desastres naturais, controle de erosão; c) Culturais: lazer, inspiração e educação d) Suporte: formação de solos, produção primária, ciclagem de nutrientes, polinização e dispersão de sementes (ALARCON *et al.* 2016; SCHINATO, 2017).

A existência dos SE destacados está diretamente relacionada com as propriedades dos ecossistemas: sua estrutura e funcionamento. O termo estrutura se refere aos distintos componentes presentes nos sistemas, como as plantas e a diversidade de espécies, e aos fatores abióticos (água, atmosfera, solos). Já seu funcionamento, ou seja, a dinâmica estabelecida entre seus componentes, e seus resultados em suas diferentes escalas (local, regional e global), está condicionada a sua plataforma base: sua estrutura. Assim, para que os níveis de produção dos SE possam se manter o ecossistema requer de uma estrutura mínima, a qual é imprescindível para seu adequado funcionamento (de forma estável e sustentável) (RAPPORT *et al.*, 1998; ALTESOR, 2011). A seguir, a Figura 1 apresenta a sequência de etapas existentes para a ocorrência de um SE.

Figura 1 – A relação entre a estrutura de um ecossistema, seu funcionamento ecológico e o bem-estar humano.



Fonte: Adaptado de Haynes-Young e Potschin (2010b).

Este modelo ilustra a forma como as estruturas biofísicas são a base para o desenvolvimento dos processos ecológicos entre seus componentes e o cumprimento de suas funções (GROOT *et al.*, 2010; HAINES-YOUNG; POTSCHEIN, 2010b). Considerando o SE de

²Os ecossistemas possuem a capacidade de gerar bens e serviços, os quais são provenientes das condições ambientais incidentes em um sítio em conjunto com as relações estabelecidas entre seus componentes bióticos. Estes resultados, por sua vez, surgem do funcionamento ecológico que expressam capacidades de abastecer direta ou indiretamente as necessidades humanas, sendo definidos como Serviços Ecossistêmicos (HAINES-YOUNG; POTSCHEIN, 2010a, 2010b; TEEB, 2010). Estes bens e serviços podem ser separados em quatro categorias: Provisão, Regulação, Suporte e Culturais (MEA, 2005).

sequestro de carbono, a existência de florestas de Mata de Araucárias (estrutura biofísica) permite a ocorrência do serviço intermediário de sequestro e armazenamento de carbono, e de um serviço final de regulação do clima, ou do controle dos níveis de carbono atmosférico. Por fim, esse serviço tem o potencial de gerar um benefício ao bem-estar humano, que pode ser expresso em valores econômicos, como o custo evitado com a liberação de carbono, ou seu custo social (TOL, 2011).

A formação da Mata de Araucárias se caracteriza como floresta subtropical, com altos níveis de produção de biomassa, e consequente sequestro e armazenamento do dióxido de carbono nos tecidos da vegetação (WATZLAWICK *et al.*, 2003). A remoção da vegetação nativa e consequente alteração na modalidade de uso e cobertura dos solos são consideradas umas das principais fontes de liberação de carbono à atmosfera (IPCC, 2007).

Este estudo apresenta como objetivo verificar as distribuições espaciais dos níveis de estoque de carbono na BHRC. Em relação a sua distribuição espacial, Bernoux *et al.* (2011) destacam o papel das bacias hidrográficas como unidades de gestão, as quais devem integrar o monitoramento e o planejamento dos estoques de carbono. Estas unidades espaciais permitem considerar porções do território onde ocorrem interações entre os recursos hídricos superficiais, as estruturas geomorfológicas, as condições climáticas além das relações existentes com o meio biótico (MAGALHÃES, 2007; CARVALHO, 2014). Ainda, a análise das distribuições espaciais de SE, bem como das variações nas áreas das classes de uso e cobertura dos solos ao longo do tempo, se apresentam como ferramentas para a gestão dos ecossistemas em bacias hidrográficas (BAEZA *et al.*, 2011; CASSOL, 2013; HENTZ *et al.*, 2014; ANDREW *et al.*, 2014; FERRAZ *et al.*, 2014).

MATERIAIS E MÉTODOS

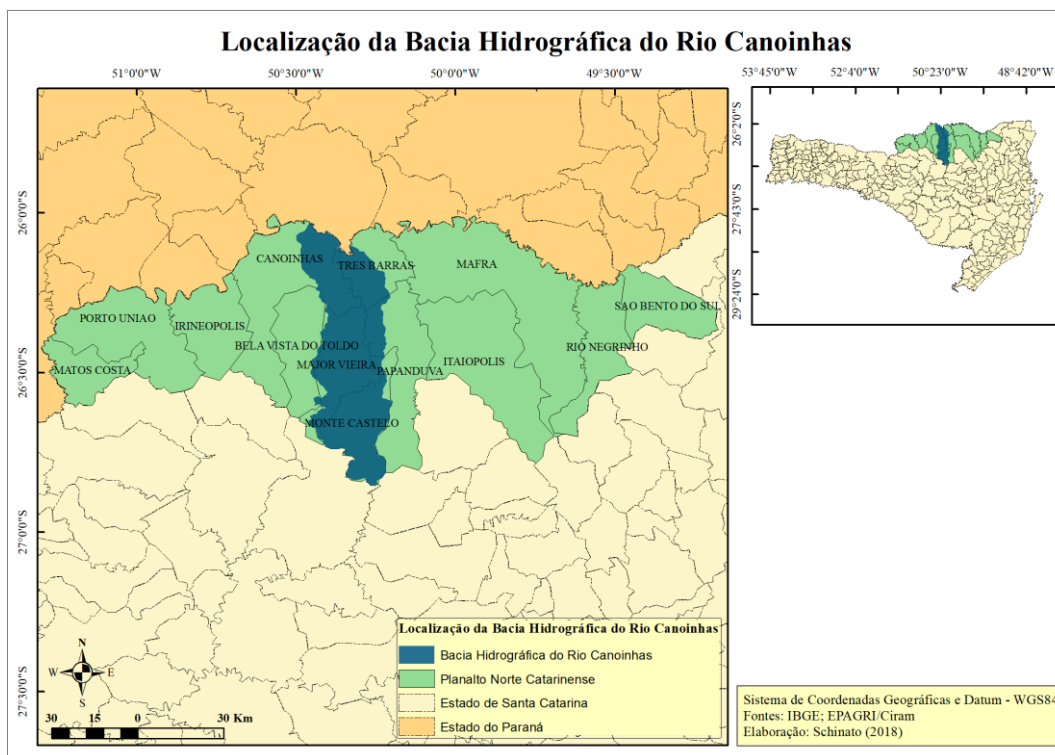
As atividades desenvolvidas na realização deste estudo foram separadas em três categorias, que consideram os seguintes temas: a primeira trata de realizar uma caracterização da área determinada como objeto de estudo; na sequência estão descritas as características das imagens satelitais utilizadas, e os processos realizados para transformação dos dados em informação de usos e cobertura dos solos; por fim se descrevem os procedimentos adotados para obtenção de valores de estoque de carbono nas distintas categorias de uso dos solos, bem como a integração de estes valores aos mapas gerados da BHRC para determinação de suas distribuições espaciais.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A BHRC compreende uma área de 1.633 km² (EPAGRI, 2007), que cobre parte dos municípios de: Monte Castelo, Major Vieira, Papanduva, Três Barras e Canoinhas. O Rio Canoinhas, que confere nome a esta bacia hidrográfica sendo seu principal rio, apresenta vazão mínima de 5,4 m³/s (SANTA CATARINA, 1997 apud GRACIANO, 2013), e possui sua

nascente localizada na Serra do Espigão, no município de Monte Castelo de onde o mesmo ruma até desembocar no Rio Negro, do qual é o maior afluente. A Figura 2 apresenta a localização da BHRC na região do PNC.

Figura 2 – Localização da BHRC.



Fonte: Elaboração do autor com dados disponibilizados pelo IBGE e Epagri/Ciram.

Considerando o território do Planalto Norte Catarinense (PNC), esta região abrange uma área de 10.466,70 km², o que representa 10,9% da superfície do estado de Santa Catarina, sendo composto por 14 municípios. A população desta região é de 357.082 habitantes, respondendo por 5,7% da população do estado de Santa Catarina (IBGE, 2011). De acordo com a sua localização a região está inserida na categoria climática Cfb (temperado constantemente úmido) Köppen-Geiger (1928), sem estação seca definida e verão fresco. A temperatura média anual da região varia de 15,5 a 17,0°C, sendo que a temperatura média das máximas varia de 24 a 26,6°C, e das mínimas de 10,8 a 11,8°C. O mesmo estudo também apresenta a precipitação pluviométrica total anual, que pode variar de 1.360 a 1.670mm, com o total de dias de chuva anuais variando entre 138 e 164 dias. Os valores de horas de frio abaixo ou iguais a 7,2°C variam de 437 a 642 horas acumuladas por ano (THOMÉ, 1999).

PROCESSAMENTO, CLASSIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DAS IMAGENS SATELITAIS

Esta seção se divide em três principais fluxos de trabalho conduzidos de modo a transformar os dados disponíveis nas imagens satelitais em informação sobre as classes de uso e cobertura dos solos na BHRC: (1) Obtenção das imagens com valores espectrais para as duas datas de interesse; (2) – Processamento das imagens; (3) – Confecção e avaliação de mapas de uso e cobertura dos solos.

(1) – As imagens utilizadas para as análises são provenientes do satélite *LandSat 5* e *8*, para os anos de 2006 e 2014 respectivamente, possuindo resolução espacial de 30 x 30m (900m²), área que representa o tamanho de cada pixel. A determinação deste período ocorreu devido ao ano de 2006 representar o ano de instauração da Lei N° 11.428/2006, conhecida como Lei da Mata Atlântica, a qual determina este bioma como patrimônio nacional sob regime de conservação ambiental. Já a determinação de imagens de satélite para o ano de 2014 corresponde a um período com uma variação temporal de 8 anos, o que permite verificar os resultados iniciais sobre a cobertura de áreas com vegetação nativa. Os critérios para a seleção de imagens foram: o período de interesse do ano, definindo como o intervalo entre 15 de dezembro e 15 de fevereiro, por representar o momento de uso e cobertura do solo mais intenso, e possuir cobertura de nuvens inferior a 10%.

(2) – O processamento dos dados foi realizado com *software* de ArcGis 10.5, no qual se realizaram as correções geométricas das imagens por meio do método de reamostragem do vizinho mais próximo. Se utilizou o sistema de coordenadas geográficas UTM (*Universal Transverse Mercator*) e o *Datum* WGS 1984 (*World Geodetic System*). As imagens foram ainda corrigidas radiométrica e atmosféricamente de modo a permitir o uso e comparação das informações espectrais em diferentes períodos. A delimitação da área da BHRC foi realizada por meio dos arquivos *shapefile* disponibilizados pelo Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina – Epagri/Ciram, sendo transformados do *Datum* SAD69 para WGS 1984. Para as áreas que apresentavam alguma nebulosidade remanescente mesmo após a delimitação da bacia hidrográfica, se aplicou método de correção de nuvens, que identifica as áreas cobertas por nuvens e suas sombras, as quais foram removidas das imagens para não afetar o processo de classificação dos pixels.

(3) – Para proceder a elaboração dos mapas de uso e cobertura do solo foram realizadas classificações supervisionadas, na qual se definem classes ou categorias de interesse, onde em cada uma se criam pontos de treinamento, com captura dos valores espectrais. Cada classe foi determinada com base em fotointerpretação das imagens e com uso de pontos conhecidos. Para elaboração dos mapas foram utilizadas as seguintes classes: Vegetação Nativa, *Pinus sp.*, *Eucalyptus sp.*, Água; Infraestrutura; Agricultura ou herbáceas, Solo Desnudo. O processo de classificação dos pixels foi realizado por meio da obtenção das assinaturas espectrais de cada cobertura nos pontos determinados, com aplicação do algoritmo de máxima verossimilitude. Neste processo cada pixel foi classificado com base em um valor de probabilidade de 90% do mesmo pertencer a uma determinada classe de uso e cobertura dos solos de acordo com seu valor espectral e sua semelhança com os valores espectrais das classes, obtidos com os pontos de treinamento. Por fim, se aplicou um filtro modelo, com objetivo de corrigir imperfeições presentes nos mapas, relacionadas com a aparição de pixels de uma determinada categoria

espalhados de modo descontínuo sobre as demais, o que dificulta a interpretação do mesmo e sua representação cartográfica (BAEZA *et al.*, 2011).

As avaliações das classificações foram realizadas mediante a construção e análise de uma matriz de contingência, com os resultados da classificação e a informação de pixels de controle, os quais representam a situação real de campo e permitem avaliar o processo de classificação (CONGALTON, 1991). A obtenção destas informações permitiu calcular o acerto global, e as precisões do produtor e do usuário. O acerto global foi calculado dividindo o número de pixels classificados corretamente pelo número total de pixels utilizados no processo de avaliação. A precisão do usuário indica a probabilidade em que uma das categorias classificadas represente efetivamente a mesma categoria em campo, e se calcula dividindo o total de pixels de uma categoria classificados corretamente pelo número total de pixels classificados para esta mesma categoria (filas da matriz). Enquanto que a precisão do produtor considera erros por omissão ou exclusão, calculados dividindo o número total de pixels classificados corretamente em uma categoria pelo número total de pixels desta mesma categoria derivados dos dados de referência (colunas da matriz) (ROSENFELD *et al.*, 1986).

ESTOQUE DE CARBONO E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL

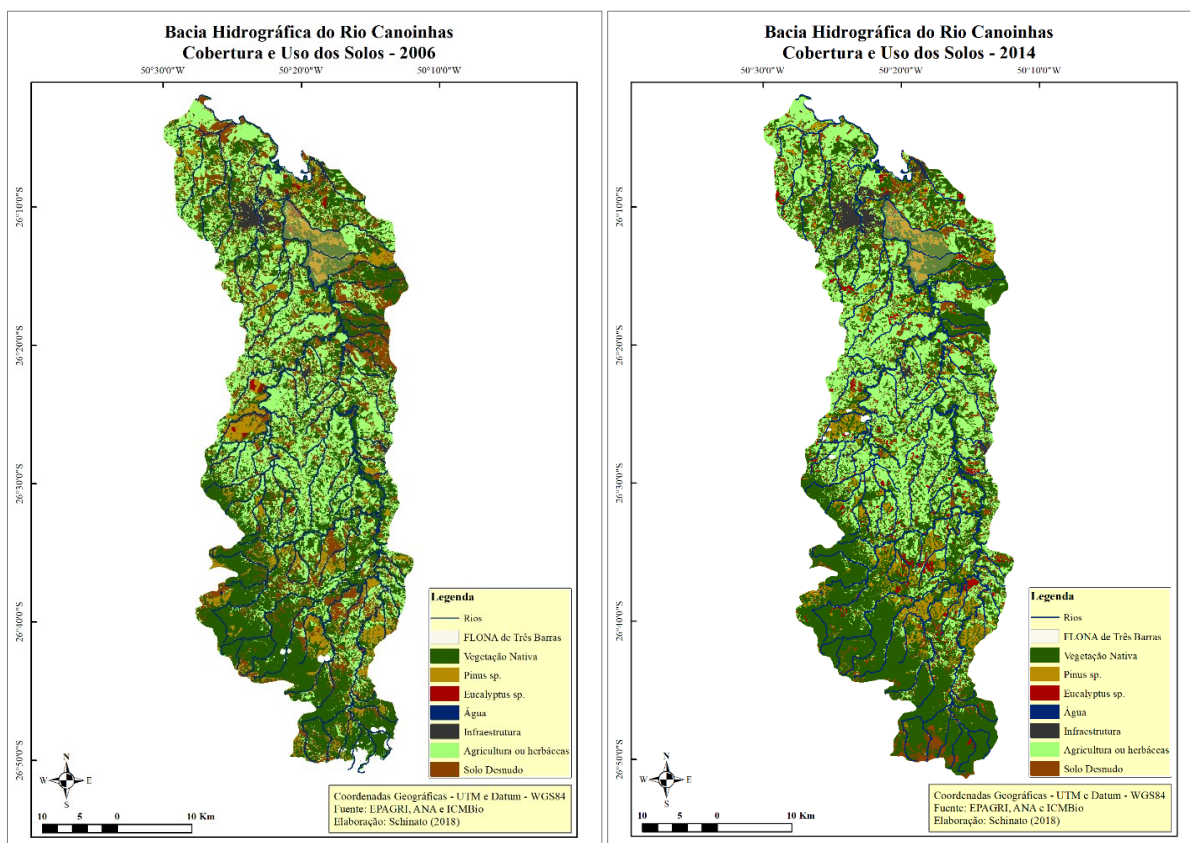
Nesta etapa foram realizadas revisões bibliográficas com o intuito de obter informação quantitativa sobre os estoques de carbono para cada classe de uso e cobertura dos solos determinadas anteriormente. Para isso se buscaram valores de carbono estocados em quatro componentes: biomassa acima do solo; biomassa abaixo do solo; solos; e matéria orgânica morta. Para realização desta revisão foram priorizados: primeiramente estudos conduzidos em áreas dentro do território da BHRC; quando não disponíveis, se utilizaram informações provenientes de estudos desenvolvidos dentro da região do PNC, e por último de estudos em áreas de domínio da FOM.

Por fim, para determinação da distribuição espacial do SE de sequestro de carbono na BHRC, se integraram os mapas de uso e cobertura dos solos gerados neste estudo, associados às informações de estoque de carbono obtidas com a revisão bibliográfica, por meio do *software Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs* (InVEST), disponibilizado pelo *Natural Capital Project*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os mapas de uso e cobertura dos solos para os anos de 2006 e 2014 estão apresentados a seguir, na Figura 3. Na sequência também se apresenta a Tabela 1, com os valores de cobertura em área das classes de uso e cobertura dos solos adotadas.

Figura 3 – Mapas de uso e cobertura dos solos da BHRC para o período de verão de 2006 e 2014.



Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 1 – Classes de uso e cobertura dos solos da BHRC.

Classe	Nome	2006		2014		Δ
		Área (ha)	Proporção (%)	Área (ha)	Proporção (%)	
1	Vegetação Nativa	67.308	41%	74.600	46%	11%
2	<i>Pinus sp.</i>	10.629	7%	8.665	5%	-18%
3	<i>Eucalyptus sp.</i>	561	0%	3.472	2%	519%
4	Água	1.251	1%	807	1%	-36%
5	Infraestrutura	3.646	2%	6.503	4%	78%
6	Agricultura ou herbáceas	52.871	32%	56.077	34%	6%
7	Solo Desnudo	25.487	16%	12.794	8%	-49%
8	Nuvens	1.578	1%	413	0%	-
Total		163.331	100%	163.331	100%	

Fonte: Elaboração do autor.

A classe vegetação nativa aumentou 11% entre os anos de 2006 e 2014, o que representa uma superfície aproximada de 7.290 hectares. Esta expansão se vincula a alta capacidade de produção primária (biomassa) dos ecossistemas, que promove a ocupação de áreas em pousio pela vegetação nativa, bem como o avanço desta em seus estágios de sucessão ecológica. Contudo, para que a expansão da vegetação nativa a áreas adjacentes ocorra se faz necessária a

existência de uma estrutura mínima do ecossistema para que este possua a capacidade de realizar um adequado funcionamento ecológico, e assim, fornecer propágulos para a colonização de ambientes abertos.

Se por um lado a expansão da vegetação nativa é promovida por sua atividade fisiológica, por sua capacidade de formação e expansão de biomassa e dispersão de propágulos, o aumento em sua cobertura de área verificado neste estudo, se relaciona também com a legislação existente sobre a conservação deste ecossistema. Neste sentido, entre os dispositivos legais existentes para o primeiro ano de análise, 2006, se encontrava o Código Florestal, lei 4.771/65, o qual limitava a ação dos direitos de propriedade privada sobre a vegetação nativa, e estabeleceu o conceito legal de Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal. Uma importante definição legal foi estabelecida com a Constituição Federal de 1988, a qual reconheceu a importância ambiental e social da Mata Atlântica, determinando a mesma como patrimônio natural e de interesse público, buscando assegurar sua preservação e de seus recursos naturais. Entre outros dispositivos legais atuantes neste momento se encontrava o Decreto nº 99.547/90 que proíbe o corte e exploração da vegetação nativa da Mata Atlântica e delimita a área de abrangência do bioma, bem como caracteriza seus estágios sucessionais. Em conjunto, as Resoluções nº 002/94 e 004/94 aprovadas pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) classificaram a vegetação em primária e secundária e os estágios inicial, médio e avançado de sucessão ecológica, além de orientar procedimentos de licenciamento ambiental nos estados de Santa Catarina e Paraná (CAPOBIANCO, 2002; PETRENTCHUK, 2015).

Com a promulgação da Lei nº 11.428/06, conhecida como Lei da Mata Atlântica, o bioma recebeu uma legislação específica, a qual apresenta como objetivo a proteção e utilização sustentável do bioma, além de salvaguardar a biodiversidade, a saúde humana, os valores paisagísticos, estéticos e turísticos, o regime hídrico e a estabilidade social propiciada pelo bioma. A respeito do corte de vegetação nativa, conforme o disposto no art. 11º, a lei veda a realização quando no local ocorram espécies de fauna e flora ameaças de extinção, ou exerçam função de proteção de mananciais e controle de erosão, quando formem corredores ecológicos entre áreas de vegetação primária e secundária, quando estejam situados nos entornos de unidades de conservação ou possuam valor paisagístico excepcional. Os artigos 20º e 21º desta lei também dispõem sobre o corte de vegetação, resignando os mesmos a situações de caráter excepcional mediante autorização. Ainda assim, o artigo 9º da mesma lei permite explorações eventuais de espécies nativas, sem propósito comercial, em propriedades rurais de produtores familiares ou em comunidades tradicionais, o que pode se caracterizar como fonte potencial de degradação da qualidade ambiental, devido a possíveis cortes seletivos de espécies de interesse.

Em relação as análises desenvolvidas neste estudo, que assume o ano de instauração da Lei da Mata Atlântica como data inicial para a avaliação, o aumento de área coberta com vegetação nativa verificada entre os anos de 2006 e 2014, de cerca de 7.290 hectares, foi influenciado pela atuação desta lei, sendo esta um dispositivo legal importante para a conservação ambiental.

Considerando a categoria de uso do solo com reflorestamentos de espécies do gênero *Pinus*, se verificou para o período uma redução de área de cerca de 18%, o que representa cerca de 1.960 hectares. Este processo está associado com a conversão de áreas entre espécies florestais, com aumento no uso de *Eucalyptus sp.*, que passou de 561 hectares, em 2006, para 3.472 hectares em 2014, representando um aumento de 518%.

Quanto à superfície classificada como água, se registrou uma diminuição de ordem de 36% entre as duas datas avaliadas, o que se vincula a situações de: aumento na superfície de áreas urbanas, assoreamento de rios e corpos hídricos que ocasionam reduções diretas em superfície e influenciam no modo como se absorve e reflete a energia solar, aumentos de áreas de preservação permanente adjacentes a corpos hídricos e seus avanços em estágios de sucessão florestal que podem levar a vegetação a se sobrepor aos cursos hídricos, influenciando na classificação dos pixels deste local.

Em áreas com infraestrutura houve um aumento em superfície de 78%, o que representa um acréscimo de aproximadamente 2.850 hectares. Neste sentido, ao analisar detalhadamente os mapas gerados é possível destacar que as alterações verificadas foram influenciadas por expansões do perímetro urbano, pelo aumento de rodovias e estradas pavimentadas e por aumentos em construções em áreas rurais.

A classe de cobertura dos solos referente a agricultura ou vegetação herbácea apresentou um aumento de 5%, que em termos de superfície isto representa cerca de 2.850 hectares, sendo esta a classe com segunda maior abrangência na BHRC, superada apenas pelas áreas com vegetação nativa.

Para a classe solo desnudo se verificou uma redução de 49% neste período, com variação aproximada de 12.690 hectares, na qual ao analisar os mapas gerados se identifica que para o ano de 2006 o valor de áreas com solos desnudos foi maior devido a áreas em período de reforma florestal, ou seja, com colheita florestal recente, ou em período de semeadura para uma segunda safra de cultivos verão.

Na sequência se apresenta as Tabelas 2 e 3, com os valores das avaliações das classificações realizadas para determinar as classes de uso e cobertura dos solos, referentes a matriz de contingência, o acerto global e os valores de precisão do usuário e do produtor.

Tabela 2 – Matriz de contingência, valores de precisão do usuário e do produtor e acerto global da classificação supervisionada referente ao ano de 2006.

Classes de Uso e Cobertura do Solo	Vegetação Nativa	<i>Pinus sp.</i>	<i>Eucalyptus sp.</i>	Água	Infraestrutura	Agricultura ou herbáceas	Solo Desnudo	Precisão do Usuário	Precisão do Produtor
Vegetação Nativa	96,88	3,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	96,88	95,38
<i>Pinus sp.</i>	6,67	88,89	4,44	0,00	0,00	0,00	0,00	88,89	93,02
<i>Eucalyptus sp.</i>	0,00	3,03	96,97	0,00	0,00	0,00	0,00	96,97	94,12
Água	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	94,74
Infraestrutura	0,00	0,00	0,00	4,35	95,65	0,00	0,00	95,65	100,00
Agricultura ou herbáceas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	92,86	7,14	92,86	92,86
Solo Desnudo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,38	93,62	93,62	93,62
Acerto Global	94,49%								

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 3 – Matriz de contingência, valores de precisão do usuário e do produtor e acerto global da classificação supervisionada referente ao ano de 2014.

Classes de Uso e Cobertura do Solo	Vegetação Nativa	<i>Pinus sp.</i>	<i>Eucalyptus sp.</i>	Água	Infraestrutura	Agricultura ou herbáceas	Solo Desnudo	Precisão do Usuário	Precisão do Produtor
Vegetação Nativa	95,83	4,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	95,83	98,57
<i>Pinus sp.</i>	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	94,00
<i>Eucalyptus sp.</i>	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
Água	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	82,86
Infraestrutura	0,00	0,00	0,00	10,91	89,09	0,00	0,00	89,09	100,00
Agricultura ou herbáceas	1,45	0,00	0,00	0,00	0,00	98,55	0,00	98,55	100,00
Solo Desnudo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
Acerto Global	97,12%								

Fonte: Elaboração do autor.

A avaliação da classificação realizada para os anos de 2006 e 2014 indica um acerto global na classificação (razão entre o número de pixels classificados corretamente pelo número total de pixels) de 94,49% e 97,12%, respectivamente. Os valores obtidos de precisão do usuário e do produtor são elevados para todas as classes de uso e cobertura dos solos dos dois anos avaliados. Se pode verificar na diagonal das matrizes de contingência os valores que correspondem a porcentagem de pixels classificados corretamente. É possível identificar que no ano de 2006 para as coberturas florestais, especialmente para *Pinus sp.*, alguns dos pixels foram classificados como vegetação nativa ou como *Eucalyptus sp.* o que é um processo esperado e dentro de níveis aceitáveis (BAEZA *et al.*, 2011), uma vez que estas classes apresentam evidentes semelhanças pois são coberturas florestais, o que implica em um comportamento semelhante de suas assinaturas espectrais. Ainda para este ano, se verifica que algumas áreas que apresentam agricultura ou vegetação herbácea se confundem com áreas de solo desnudo, o que se explica devido a estágios iniciais de desenvolvimento de culturas agrícolas ao momento de registro da imagem de satélite, o que dificulta a assertividade do processo de classificação da imagem. Para o ano de 2014 é possível identificar que parte dos pixels correspondentes a classe de infraestrutura foram classificados como água, o que se deve a que estas coberturas do solo apresentam elevados níveis de absorção de energia luminosa e baixos valores de reflexão, podendo apresentar valores espectrais próximos para alguns pontos específicos, passíveis de serem classificados de modo equivocado pelo algoritmo. Ainda assim, os valores de assertividade observados para estas classes no ano de 2014 podem ser considerados adequados.

A seguir, se apresenta a Tabela 4, na qual estão dispostos os valores de estoque de carbono, em (MgC.ha⁻¹), assumidos para cada classe de uso e cobertura dos solos, determinados com base em revisões bibliográficas.

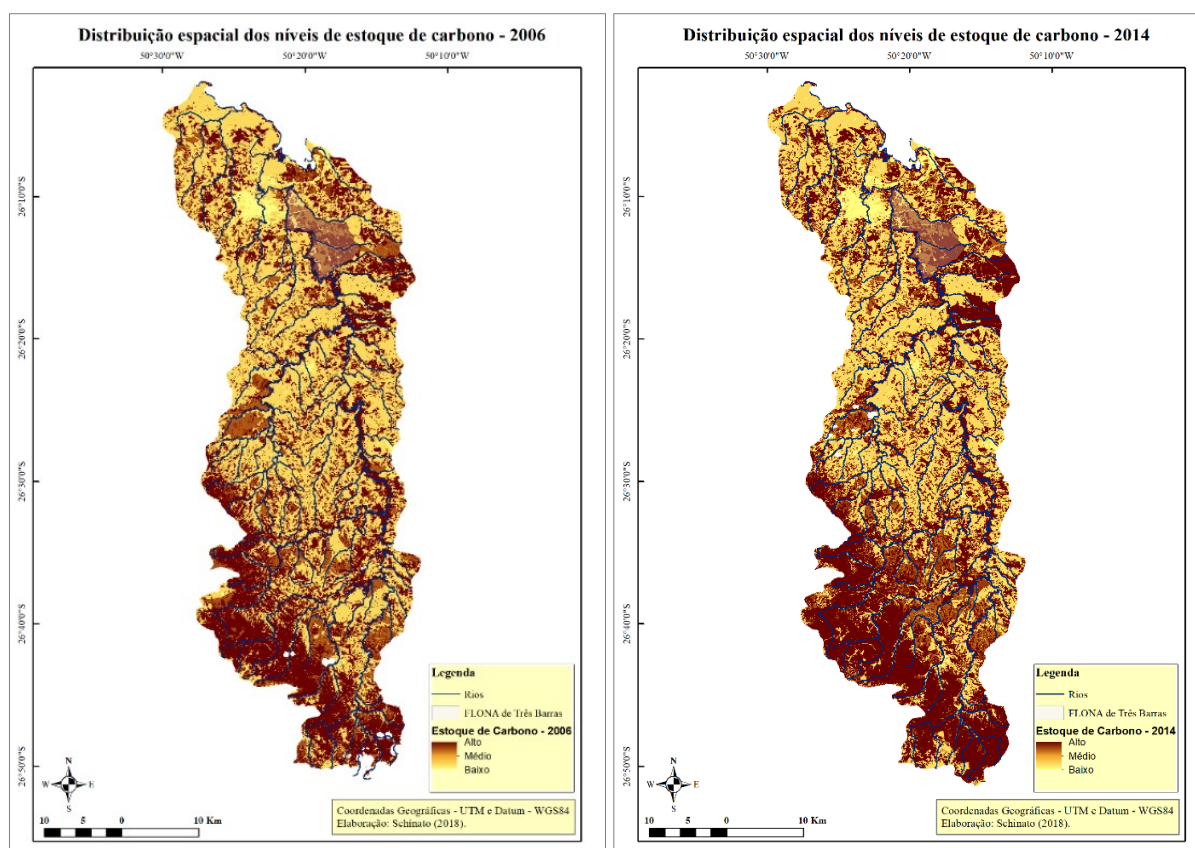
Tabela 4 – Estoques de carbono ($\text{MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$) por categoria.

Classes	Parte Aérea	Raízes	Solos	Matéria Morta	Referência
Vegetação Nativa	120*	35 ¹	76 ²	4 ³	*Calculado de CARDOSO <i>et al.</i> (2015) e WATZLAVICK <i>et al.</i> (2002)
<i>Pinus sp.</i>	89 ⁴	13 ⁴	63 ²	8 ⁴	
<i>Eucalyptus sp.</i>	96 ³	30 ³	68 ²	1 ³	1 – CAIRNS <i>et al.</i> (1997)
Água	0	0	0	0	2 – PRIMIERI <i>et al.</i> (2017)
Infraestrutura	0	0	0	0	3 – CARDOSO <i>et al.</i> (2015)
Agricultura ou herbáceas	0	0	48 ⁵	0	4 – BALBINOT <i>et al.</i> (2008)
Solo Desnudo	0	0	48 ⁵	0	5 – ANDRADE (2013)

Fonte: Elaboração do autor.

Com base nos mapas de uso e cobertura dos solos e nos valores de estoque de carbono se geraram os mapas de distribuição espacial de estoque de carbono para os anos estudados, conforme se apresenta na Figura 4.

Figura 4 – Níveis de estoque de carbono na BHRC para os anos de 2006 e 2014.



Fonte: Elaboração do autor.

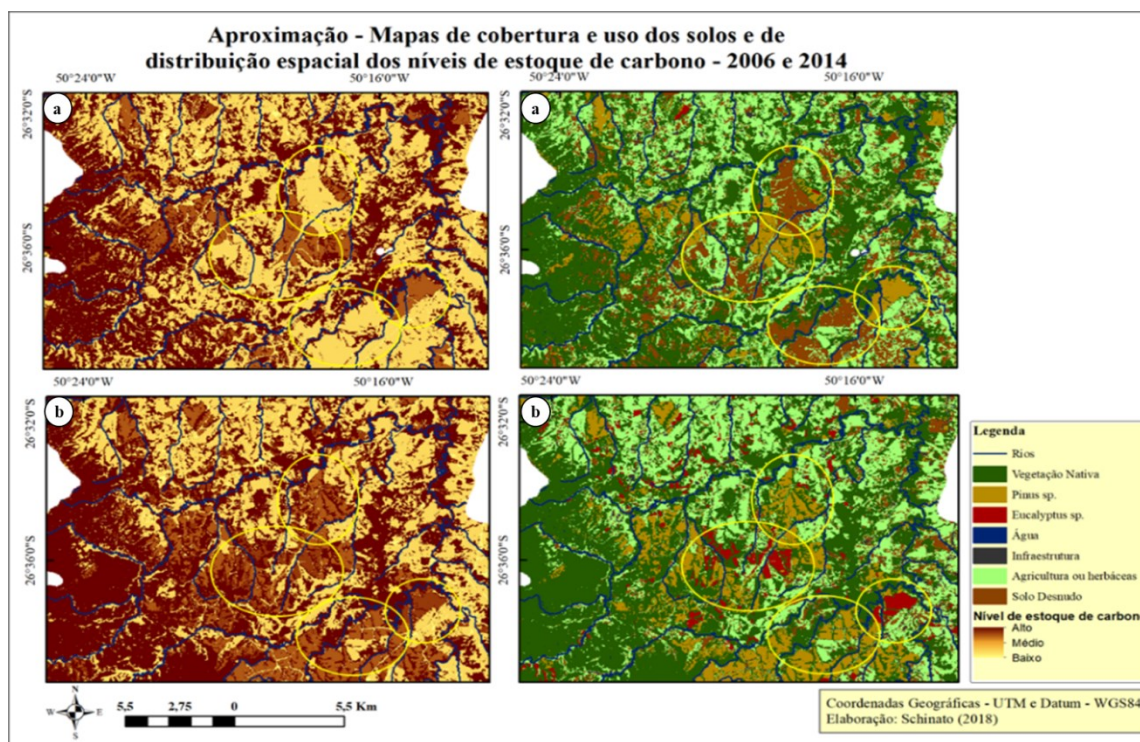
Pode-se verificar que as áreas com vegetação nativa cumprem um importante papel para o sequestro de carbono neste território, uma vez que representam a classe de uso e cobertura dos solos com maiores níveis de estoque de carbono e com maior abrangência na BHRC. Se identifica que a região ao sul do mapa exposto, que representam as áreas localizadas na Serra

do Espigão, nos municípios de Monte Castelo e Major Vieira, se configuram como uma zona de extrema importância para a manutenção da vegetação nativa e de seus estoques de carbono. Neste local esta classe de cobertura e uso dos solos passou por expansões em sua cobertura, o que destaca a capacidade de suas funções ecológicas e resiliência, com aumento de biomassa e a colonização de áreas adjacentes. Outra região de especial interesse se localiza na área coberta pela Floresta Nacional de Três Barras e aos fragmentos de vegetação nativa adjacentes a esta, representando grandes extensões que auxiliam na manutenção do estoque de carbono no território de estudo. Além destes locais, as áreas de preservação permanente às margens dos rios, sobretudo do Rio Canoinhas, permitem a conexão entre muitos fragmentos, o que contribui não exclusivamente para fixação de carbono, mas também permite uma interação direta entre seus componentes bióticos. Por último se pode verificar que a BHRC apresenta, além destas situações destacadas, um grande número de fragmentos de vegetação nativa dispersos e sem conexão, o que se configura como uma fonte potencial de degradação e de redução de suas capacidades de funcionamento ecológico (MEDEIROS *et al.*, 2005)

Contudo, as áreas cobertas com a FOM seguem avançando em seus estágios de sucessão ecológica, com incremento na acumulação de biomassa no sistema, ainda que os ganhos anuais com sequestro de carbono sejam cada vez menores, pois a medida que as florestas avançam em sua sucessão, passam a possuir grandes quantidades de biomassa, e assim esta vegetação apresenta elevados índices de fotorrespiração, onde ocorre a liberação de parte do carbono absorvido (MARENCO *et al.*, 2014).

A análise dos mapas gerados permite identificar alguns processos que ocorrem na superfície de estudo e que influenciam nos níveis de sequestro de carbono. As áreas com produção florestal de espécies exóticas cobriam uma superfície de 11.190 e 12.137 hectares, nos anos de 2006 e 2014 respectivamente, nas quais se pode identificar um elevado potencial para o armazenamento de carbono. Isto se deve ao fato de que estes sistemas passam pelos processos de colheita da matéria prima madeireira quando alcançam determinadas idades de rotação. Esse regime de manejo faz com que a maior parte do tempo estas áreas estejam cobertas por sistemas florestais de alta produtividade mantidos em estágios de sucessão ecológica juvenis, o que lhes confere alta capacidade de crescimento, de expansão de biomassa e de sequestro de carbono. Outro processo com potencial de incrementar os níveis de sequestro de carbono é a conversão de áreas com *Pinus sp.* para *Eucalyptus sp.*, o que se verifica nos resultados obtidos e podem ser evidenciados em análises dos mapas gerados, conforme apresenta a Figura 5 a seguir.

Figura 5 – Aproximação dos mapas de cobertura e uso dos solos e dos níveis de estoque de carbono na BHRC para os anos de 2006 (a) e 2014 (b).



Fonte: Elaboração do autor.

Cabe destacar que, as áreas de produção florestal destinam suas matérias primas a diferentes usos (ANDREJOW *et al.*, 2018), sendo que quando atendam a fins energéticos, ou para produção de celulose e papel, estes sistemas terminam por não produzir aumentos contínuos nos níveis de armazenamento de carbono, devido a iminente liberação de seus conteúdos de carbono à atmosfera. Contudo, se as matérias primas madeireiras se destinam a bens com maiores ciclos de vida, como para indústria de madeira serrada e de móveis, estes sistemas ampliam sua contribuição para o armazenamento de carbono (SCHELHAAS *et al.*, 2004).

CONCLUSÃO

Os processos de alteração na cobertura e uso dos solos possuem um impacto direto sobre a estrutura e o funcionamento ecológico dos ecossistemas naturais, estes que por sua vez são responsáveis pela existência de diferentes SE. Entre os anos de 2006 e 2014 as áreas com vegetação nativa na BHRC aumentaram sua cobertura em 7.290 hectares (11%), o que permitiu uma expansão dos níveis de carbono armazenados devido à permanente capacidade de formação de biomassa deste ecossistema. As áreas destinadas a reflorestamentos com fins produtivos passaram por um aumento de 950 hectares (8,5%). Isso aumento se ocorreu acompanhado de alterações nas áreas cobertas de acordo com as espécies utilizadas: redução

de 1.964 hectares (18%) em áreas com espécies do gênero *Pinus*, e aumento de 2.911 hectares (519%) com espécies do gênero *Eucalyptus*, propiciado por sua maior produtividade primária.

A análise da distribuição espacial do estoque de carbono na BHRC permite identificar locais de alta concentração dos estoques de biomassa e carbono, conforme se verifica nas áreas com vegetação nativa da Serra do Espigão, na Floresta Nacional de Três Barras, ao longo das Áreas de Preservação Permanente (APP) de cursos hídricos, e em alguns grupos de fragmentos maiores, sendo estes ambientes os responsáveis pelas maiores quantidades de carbono armazenado ao longo do território avaliado.

REFERÊNCIAS

- ALARCON, G. G. Fragmentação da floresta com araucária e ecossistemas associados no corredor ecológico Chapecó, Santa Catarina. **Biotemas**, v. 24, n. 3, p. 25-38, 2011.
- _____; FANTINI, A. C.; SALVADOR, C. H. Benefícios Locais Da Mata Atlântica: Evidências De Comunidades Rurais do Sul do Brasil. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, n. 3, p. 87-110, 2016.
- ALTESOR, A. Servicios ecosistémicos de los pastizales naturales. In: ALTESOR, A.; AYALA, W.; PARUELO, J. M. (Org). **Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales**. INIA FPTA, n. 26, p. 221-234, 2011.
- ANDRADE, A. P. **Estoque e frações de carbono e atributos físicos em nitossolo vermelho relacionado à aplicação de esterco em sistemas de produção**. 2013. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – UDESC. Lages, 2013.
- ANDREJOW, G. M. P. *et al.* Planalto Norte Catarinense: considerações sobre o setor florestal e a eucaliptocultura. **DRd – Desenvolvimento Regional em debate**. v. 8, n. 2, jul./dez., p. 143-168, 2018.
- ANDREW, M. E.; NELSON, T.; WULDER, M. Potential contributions of remote sensing to ecosystem service assessments. **Progress in physical geography**, v. 38, n. 3, p. 328-352, 2014.
- BAEZA, S. *et al.* Cartografía de los pastizales naturales en las regiones geomorfológicas de Uruguay predominantemente ganaderas. In: ALTESOR, A.; AYALA, W.; PARUELO, J. M. (Org). **Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales**. INIA FPTA, n. 26, p. 33-54, 2011.
- BALBINOT, R. *et al.* Estoque de carbono em plantações de pinus spp. em diferentes idades no sul do estado do paraná. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 2, p. 317-324, abr./jun. 2008.

- BERNOUX, M. *et al.* Carbon sequestration as an integral part of watershed management strategies to address climate change issues. **EASYPol**, 2011, p. 4-18. Disponível em: <http://www.fao.org/fileadmin/templates/ex_act/pdf/Policy_briefs/Carbon_watershed_management_July_2011.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2019.
- CAIRNS, M. A. *et al.* Root biomass allocation in the world's upland forests. **Oecologia**, Berlin, v. 111, n. 1, p. 1-11, 1997.
- CAPOBIANCO, J. P. R. Mata Atlântica: conceito, abrangência e área original. In: SCHAFFER, W. B.; PROCHNOW, M. **A Mata Atlântica e você: como preservar, recuperar e se beneficiar da mais ameaçada floresta brasileira**. Brasília: Apremavi, 2002. p. 111-119.
- CARDOSO, D. J.; PARRON, L. M.; FRANCISCON, L. Carbono de biomassa em floresta nativa e sistemas florestais como indicador de serviços ambientais. In: PARRON, *et al.* **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do bioma Mata Atlântica**. Brasília: Embrapa, 2015, p. 84-91.
- CARVALHO, R. G. As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, n. 36, p. 26-43, 2014.
- CASSOL, H. L. G. **Estimativa de biomassa e estoque de carbono em um fragmento de floresta ombrófila mista com uso de dados ópticos de sensores remotos**. 2013. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – URGS. Porto Alegre, 2013.
- CONGALTON, R. A Review of Assessing the Accuracy of Classification Remotely Sensed Data. **Remote Sensing of Environment**, E.U.A., n. 37, p. 35-36, 1991.
- EPAGRI. **Mapa de Unidades Hidrográficas de Santa Catarina**. 2007. Disponível em: <http://ciram.epagri.sc.gov.br/mapoteca/pre_download_hidrograficas.jsp>. Acesso em: 10 ago. 2018.
- FERRAZ, A. S. *et al.* Estimativa do estoque de biomassa em um fragmento florestal usando imagens orbitais. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 3, p. 286-296, 2014.
- GRACIANO, E. E. B. P. **Uso e conservação dos recursos hídricos na comunidade de São Cristovão em relação ao Rio Canoinhas – SC**. 2013. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) – UFSC. Canoinhas, 2013.
- GROOT, R. de. *et al.* Integrating the ecological and economic dimensions in biodiversity and ecosystem service valuation. In: SUKHDEV, P. *et al.* (ed.) **The economics of ecosystems and biodiversity: the ecological and economics foundations**, 2010, p. 4-40.
- GUERRA, M. P. *et al.* Exploração, manejo e conservação da araucária (*Araucaria angustifolia*). In: SIMÕES, L.L.; LINO, C. F. (Org.). **Sustentável Mata Atlântica: a exploração de seus recursos florestais**. São Paulo: Editora SENAC, 2002, p. 85-101.

HAINES-YOUNG, R., POTSCHIN, M. **proposal for a common international classification of ecosystem goods and services (CICES) for integrated environmental and economic accounting**. Paper prepared by Centre for Environmental Management, University of Nottingham, United Kingdom, 2010a.

_____; _____. The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being. In: RAFFAELLI, D. G.; CHRISTOPHER, L. J. F. (Org.). **Ecosystem ecology: a new synthesis**. Cambridge University Press, British Ecological Society, 2010b, p. 110-139.

HENTZ, A. M. K. *et al.* Técnicas de sensoriamento remoto para estimativa de biomassa em ambientes florestais. **Enciclopédia BIOSFERA**. Goiânia: Centro Científico Conhecer, v. 10, n. 18, p. 2810-2823, 2014.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Censo Demográfico 2010**. Características da população e dos domicílios: resultados do universo. Rio de Janeiro, IBGE, 2011.

IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL on CLIMATE CHANGE). Summary for Policymakers. In: PARRY, M. L. *et al.* (ed.). **Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability: contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2007, p. 7-22.

KLEIN, R. M. Mapa Fitogeográfico do Estado de Santa Catarina. In: REITZ, R. (ed.). **Flora Ilustrada Catarinense**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1978.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes, 1928.

MAGALHÃES, JR. A. P. **Indicadores ambientais e recursos hídricos: realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

MARENCO, R. *et al.* Fisiologia de espécies florestais da Amazônia: fotossíntese, respiração e relações hídricas. **Revista Ceres**, n. 61, p. 786-799, 2014.

MARQUES, A. C. **Planejamento da paisagem da Floresta Nacional de Três Barras (Três Barras - SC): subsídios ao plano de manejo, 2007**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – UFPR, Curitiba, 2007.

MEA (Millennium Ecosystem Assessment). **Ecosystems and human well-being: synthesis**. Washington DC: Island Press, 2005.

MEDEIROS, J. D. de.; SAVI, M.; BRITO, B. F. A. de. Seleção de áreas para criação de unidades de conservação na Floresta Ombrófila Mista. **Biotemas**, v. 18, n. 2, p. 33-50, 2005.

PETRENTCHUK, L. W. *et al.* Possibilidades e desafios do manejo de fragmentos de floresta ombrófila mista como alternativa de desenvolvimento: a floresta nativa como ferramenta motivadora no PNC. **DRd – Desenvolvimento Regional em debate**. v. 6, n. 2, ed. esp., p. 104-126, jul., 2016.

PETRENTCHUK, L. W. **Possibilidades e desafios do manejo de fragmentos de floresta ombrófila mista como alternativa do desenvolvimento: um estudo com base na realidade socioeconômica ambiental em Canoinhas (SC)**. 2015. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional) – UnC. Canoinhas, 2015.

PRIMIERY, S.; ALEKSANDER, W. M.; LISBOA, H. M. Dinâmica do Carbono no Solo em Ecossistemas Nativos e Plantações Florestais em Santa Catarina. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.

PROCHNOW, M. **O Parque Nacional das Araucárias e a Estação Ecológica Mata Preta: unidades de conservação da Mata Atlântica**. Rio do Sul: Apremavi, 2009.

RAPPORT, D. *et al.* Ecosystem health. **Blackwell Scientific**, Malden, p. 3-17, 1998.

ROSENFELD, G. H.; FITZPATRICK-LINS, K. A. Coefficient of Agreement as Measure of Thematic Classification Accuracy. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 52, n. 2, p. 223-227, 1986.

SANTA CATARINA. **Bacias hidrográficas de Santa Catarina: diagnóstico geral**. Florianópolis, Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, 1997.

SCHELHAAS, M.J. *et al.* **CO2FIX V 3.1**: description of a model for quantifying carbon sequestration in forest ecosystems and wood products. ALTERNATERRA Report 1068, Wageningen, The Netherlands, 2004.

SCHINATO, F. **Serviços ecossistêmicos em Floresta Ombrófila Mista, um estudo na Floresta Nacional de Três Barras – SC**. 2017. Monografia (Especialização em Desenvolvimento Rural Sustentável) IFSC. Canoinhas, 2017.

TEEB. **The economics of ecosystems and biodiversity ecological and economic foundations**. KUMAR, P. (ed.). London and Washington: Earthscan, 2010.

THOMÉ, V. M. R. *et al.* **Zoneamento agroecológico e socioeconômico de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, v. 1000. p. 236, 1999.

TOL, R. S. J. The social cost of carbon. **Annual Review of Resource Economics**, v. 3, n. 1, p. 419-443, 2011.

TRES, D. R.; REIS, A.; SCHLINDWEIN, S. L. A construção de cenários de relação homem-natureza sob uma perspectiva sistêmica para o estudo da paisagem em fazendas produtoras de madeira no Planalto Norte Catarinense. **Ambiente e Sociedade**, Campinas, v. 14, n. 1, p. 151-173, 2011.

VIBRANS, A. C. *et al.* Inventário Florístico e Florestal de Santa Catarina: Floresta Ombrófila Mista. In: VIBRANS, A. C. *et al.* (ed.) **Inventário florístico florestal de Santa Catarina**. 1.ed. Blumenau: Edifurb, 2013. v. 3.

WATZLAWICK, L. F. Estimativa de biomassa e carbono em Floresta Ombrófila Mista e plantações florestais a partir de dados de imagens do satélite Ikonos II. 2003. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – UFPR, Curitiba, 2003.

Artigo recebido em: 20/12/2018

Artigo aprovado em: 01/04/2019

Artigo publicado em: 22/05/2019