

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS DE FREDERICO WESTPHALEN
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA –
AGRICULTURA E AMBIENTE

Daniele Arndt Erthal

**DINÂMICA DO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO
FLORESTAL ACIMA DO SOLO NO NOROESTE DO RIO
GRANDE DO SUL.**

Frederico Westphalen, RS
2017

Daniele Arndt Erthal

**DIÂMICA DO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO FLORESTAL ACIMA
DO SOLO NO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL.**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia- Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia**.

Orientador: Prof^oDr^o. Rafaelo Balbinot
Co-Orientador: Prof^oDr^o. Fábio Marcelo Breunig

Frederico Westphalen, RS
2017

Daniele Arndt Erthal

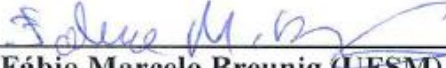
**DINÂMICA DO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO FLORESTAL
ACIMA DO SOLO NO NOROESTE RIO GRANDE DO SUL.**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia- Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia**.

Aprovado em 15 de fevereiro de 2017:



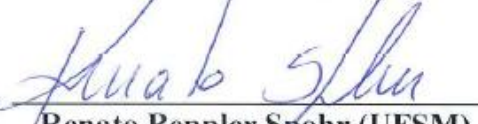
Rafael Balbinot (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Fábio Marcelo Breunig (UFSM)
(Co-Orientador)



Alexander Christian Vibrans (FURB)



Renato Beppler Spohr (UFSM)

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Erthal, Daniele Arndt
DINÂMICA DO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO FLORESTAL ACIMA DO SOLO NO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL. / Daniele Arndt Erthal.- 2017.
75 p.; 30 cm

Orientador: Rafaelo Balbinot
Coorientador: Fabio Marcelo Breunig
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Frederico Westphalen, Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Agricultura e Ambiente, RS, 2017

1. Estimativa 2. Biomassa Florestal 3. Carbono 4. Sensoriamento Remoto 5. Mapeamento I. Balbinot, Rafaelo II. Breunig, Fabio Marcelo III. Título.

*Aos meus pais,
Amaro e Rosane ,
e minha irmã Vanessa
exemplos de vida,
que sempre me
apoiaram e acreditaram
em minhas vitórias e
ideais.*

DEDICO...

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida e por estar ao meu lado em todos os momentos.

A Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente (PPGAAA) pela oportunidade de cursar o Mestrado, propiciando-me o acesso à Pós-Graduação pública e de qualidade. Em especial à FAPERGS pela bolsa concedida.

Ao Prof. Dr. Rafaelo Balbinot orientador e ao Prof. Dr. Fabio Marcelo Breunig, pela confiança, orientação, e todo apoio necessário para condução deste trabalho.

Aos meus pais, Amaro e Rosane, pelo amor, compreensão e dedicação para que pudesse realizar meu sonho, permanecendo sempre ao meu lado, me dando todo apoio necessário para que pudesse chegar até aqui.

A minha irmã Vanessa pelo apoio, amor e incentivo, por me escutar e estar sempre ao meu lado.

Ao William Araldi, pelo carinho, amor, incentivo e apoio incondicional durante essa caminhada.

Aos meus amigos e colegas de laboratório, pela ajuda, companheirismo e amizade, fundamentais para a execução da pesquisa.

Aos amigos que fizeram parte desses momentos sempre me ajudando e incentivando.

Enfim, a todos aqueles não citados, que contribuíram diretamente e indiretamente para que eu vencesse mais esta importante etapa de minha vida.

A todos vocês,

MUITO OBRIGADO.

Não sei o que posso parecer aos olhos do mundo, mas aos meus pareço apenas ter sido como um menino brincando à beira-mar, divertindo-me com o fato de encontrar de vez em quando uma pedra mais lisa ou uma concha mais bonita que o normal, enquanto o grande oceano da verdade permanece completamente por descobrir à minha frente.

(Isaac Newton)

RESUMO

ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA REGIÃO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL.

Autora: Daniele Arndt Erthal
Orientador: Rafaelo Balbinot
Co-Orientador: Fábio Marcelo Breunig

Os remanescentes de vegetação nativa da Mata Atlântica contabilizam cerca de 22% de sua cobertura original e se encontram em diferentes estágios de regeneração. As tipologias pertencentes ao bioma e que se encontram no noroeste do estado do Rio Grande do Sul são floresta ombrófila mista e floresta estacional decidual. Em meio às consequências da atual dinâmica do uso e ocupação do solo causadas pelo homem, está a fragmentação de florestas primárias e secundárias, onde uma área contínua resulta em um grande número de fragmentos isolados e de diferentes tamanhos. Entre os diversos serviços ambientais prestados pelos ecossistemas florestais, se destaca o sequestro e estocagem do carbono na forma de biomassa. Assim é fundamental o papel das florestas nativas na remoção e estoque do carbono, demonstrando a necessidade de desenvolver novos métodos que estimem a biomassa e carbono de florestas por meio de métodos não destrutivos. O objetivo do presente trabalho é estimar e estudar a dinâmica do estoque da biomassa e do carbono florestal em estágios sucessionais de regeneração na Região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. A área de estudo está localizada no Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, abrangendo duas microrregiões, Três Passos e Frederico Westphalen. Para este estudo foram desenvolvidas duas metodologias para estimar o estoque de biomassa florestal, ambas baseadas em dados de sensoriamento remoto. O estudo na primeira metodologia foi realizado para as datas de 1985, 1994, 2005 e 2014, e abrange área de 9.046,9 km². A classificação das sucessões florestais em estágios de regeneração se deu por continuidade ao trabalho de Rosa (2016), onde as classes de tamanho: inicial (< 5 ha), média (5 – 10 ha), avançada (> 10 ha), depois estimadas a biomassa para elas. Para a segunda metodologia, foram usadas imagens de todos os anos desde 1985 a 2014, onde foi calculado o NDVI, e através de regressão gerada para o modelo global, se obter o IAF e estimar a biomassa florestal. Posteriormente, comparou-se ambas as metodologias foram comparadas entre si, e comparadas com valores fornecidos pela metodologia do Serviço Florestal Brasileiro. Para o primeiro estudo, a biomassa florestal em 2014 na Região Noroeste do estado do Rio Grande do Sul foi de 80.831 Gg, divididos em três estágios de regeneração inicial (659 Gg) médio (2.549 Gg) e avançado (77.623 Gg). Na área de estudo, estão presentes três áreas protegidas, o Parque Estadual do Turvo, a Reserva indígena de Nonoai e a Reserva indígena do Guarita, as quais possuem quase 25% do estoque total da região, e são áreas significativas no estoque de carbono. O carbono estimado pela primeira metodologia foi de 296 Gg para o estágio inicial, 1.147 para o estágio médio e 34.930 para o estágio avançado, totalizando 36.373 Gg. Para a segunda metodologia, foi possível observar a grande relação entre o aumento do IAF em função do NDVI estimando a biomassa florestal em 2014 foi de 61.156 Gg onde 602 Gg correspondem ao estágio de regeneração inicial, 8.287 Gg para o estágio médio e 52.267 Gg para o estágio avançado de regeneração. O total de carbono estimado para a área de estudo em 2014 conforme a segunda metodologia foi de 27.520 Gg CO₂ sendo desses 271 Gg presentes no estágio inicial, 3.729 Gg no estágio médio e 23.520 Gg no estágio avançado de regeneração. Na comparação das metodologias desenvolvidas neste estudo, obteve-se uma diferença de 19.675 Gg, devido principalmente aos efeitos de bordas dos fragmentos estudados. Comparando-se a primeira e a segunda metodologias desenvolvidas com a fornecida pelo Serviço Florestal Brasileiro, obteve-se apenas 10 e 14,30% dos valores estimados para a biomassa florestal.

Palavras-Chave: Estimativa de Biomassa. Sucessão Florestal. Sensoriamento Remoto. Índice de área foliar. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).

ABSTRACT

BIOMASS AND CARBON STOCK IN THE NORTHWESTERN REGION OF THE RIO GRANDE DO SUL STATE, BRAZIL.

Author: Daniele Arndt Erthal
Advisor: Rafaelo Balbinot
Co-Advisor: Fábio Marcelo Breunig

The remnants of vegetation native to the Atlantic Forest account for about 22% of their original cover and are in different stages of regeneration. The typologies belonging to the biome and found in the northwest of the state of Rio Grande do Sul are mixed ombrophilous forest and deciduous seasonal forest. Amid the consequences of the current dynamics of land use and occupation caused by man, there is the fragmentation of primary and secondary forests, where an area continues to result in a large number of isolated fragments of different sizes. Among the various environmental services provided by forest ecosystems, the most important is the sequestration and storage of carbon in the form of biomass. Thus, the role of native forests in the removal and stocking of carbon is fundamental, demonstrating the need to develop new methods that estimate forest biomass and carbon by non-destructive methods. The objective of the present work is to estimate and study the dynamics of biomass and forest carbon stock in successional stages of regeneration in the Northwest Region of the State of Rio Grande do Sul. The study area is located in the Northwest of the State of Rio Grande do Sul, covering two microregions, Três Passos and Frederico Westphalen. For this study two methodologies were developed to estimate the forest biomass stock, both based on remote sensing data. The study in the first methodology was carried out for the dates of 1985, 1994, 2005 and 2014, and covers an area of 9,046.9 km². The classification of forest successions in regeneration stages was a continuation of the work of Rosa (2016), where the size classes: initial (<5 ha), medium (5 - 10 ha), advanced (> 10 ha), later Biomass for them. For the second methodology, images from each year were used from 1985 to 2014, where the NDVI was calculated, and through regression generated for the global model, to obtain the IAF and to estimate the forest biomass. Subsequently, comparing both methodologies were compared among themselves, and compared with values provided by the methodology of the Brazilian Forest Service. For the first study, forest biomass in 2014 in the Northwest Region of the state of Rio Grande do Sul was 80,831 Gg, divided into three stages of initial (659 Gg) regeneration (2,549 Gg) and advanced (77,623 Gg) regeneration. In the study area, there are three protected areas, the Turvo State Park, the Nonoai Indigenous Reserve and the Guarita Indian Reserve, which account for almost 25% of the total stock of the region, and are significant areas in the carbon stock. The carbon estimated by the first methodology was 296 Gg for the initial stage, 1,147 for the medium stage and 34,930 for the advanced stage, totaling 36,373 Gg. For the second methodology, it was possible to observe the great relation between the increase of the LAI as a function of NDVI and the forest biomass in 2014 was 61,156 Gg, where 602 Gg corresponds to the initial regeneration stage, 8,287 Gg for the medium stage and 52,267 Gg for The advanced stage of regeneration. The estimated total carbon for the study area in 2014 according to the second methodology was 27,520 Gg CO₂, of which 271 Gg were present in the initial stage, 3,729 Gg in the medium stage and 23,520 Gg in the advanced stage of regeneration. In the comparison of the methodologies developed in this study, a difference of 19,675 Gg was obtained, due mainly to the effects of edges of the studied fragments. Comparing the first and second methodologies developed with that provided by the Brazilian Forest Service, only 10 and 14.30% of the estimated values for forest biomass were obtained.

Keywords: Biomass estimate, Forest Succession, Remote Sensing, Foliar area index (IAF). Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa do bioma Mata Atlântica e a distribuição das tipologias florestais.	18
Figura 2: Fotografias que ilustram as características típicas de uma Floresta Secundária em Estágio Inicial de regeneração na região de estudo.	21
Figura 3: Fotografias que ilustram as características típicas de uma Floresta Secundária em Estágio Médio de regeneração.	21
Figura 4: Fotografias que ilustram as características típicas de uma Floresta Secundária em Estágio Avançado de regeneração.	22
Figura 5: Mapa de localização da área de estudo.	31
Figura 6: Fluxograma do resumo da metodologia a ser desenvolvida.	33
Figura 7: Fluxograma do resumo da metodologia a ser desenvolvida.	35
Figura 8: Mapa de cobertura florestal e respectivo estoque de biomassa por estágio sucessional no ano de 1985.	43
Figura 9: Mapa de cobertura florestal e respectivo estoque de biomassa por estágio sucessional no ano de 2014.	44
Figura 10: Dinâmica do NDVI para os Estágios Sucessionais iniciais, médio e avançado.	49
Figura 11: Mapa da distribuição do estoque de biomassa nos estágios sucessionais para o ano de 1985.	56
Figura 12: Mapa da distribuição do estoque de biomassa nos estágios sucessionais para o ano de 2014.	57
Figura 13: Mapa de comparação entre as metodologias desenvolvidas, para o ano de 2014.	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Modelo empírico para a estimativa do IAF a partir do NDVI, ajustado para florestas de folhas largas (broadleaf forest). (a) Tabela de relação entre NDVI e IAF; (b) modelo de ajuste gerado para a estima do IAF na área de estudo.....	37
Tabela 2: Número de fragmentos para cada estágio sucessional nos anos de 1985, 1994, 2005 e 2014.	38
Tabela 3: Área de fragmentos florestais nativos nos estágios inicial, médio e avançado e sua dinâmica nos últimos 30 anos, na Região Noroeste do RS.....	40
Tabela 4: Determinação da biomassa florestal para os estágios sucessionais, conforme pesquisa bibliográfica minuciosa.	40
Tabela 5: Biomassa Florestal para as regenerações inicial, média e avançada, em cada data estudada.	41
Tabela 6: Biomassa Florestal correspondente às áreas protegidas.	45
Tabela 7: Estimativa do estoque de Carbono na Região Noroeste do RS.	46
Tabela 8: Área em hectares dos estágios de regeneração após ajuste do modelo logístico do IAF em função do NDVI.	50
Tabela 9: Biomassa em Gg para a área de estudo em cada Estágio de Regeneração.....	52
Tabela 10: Média da biomassa florestal para os últimos cinco anos estudos.....	54
Tabela 11: Carbono em Gg para a área de estudo em cada Estágio Sucessional.	58

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1. 1.1 OBJETIVOS GERAIS	15
1.1.1 Objetivos Específicos	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2. 2.1 FORMAÇÕES FLORESTAIS	17
3. 2.2 SUCESSÃO FLORESTAL	19
2.2.1 Sucessão Florestal segundo a Legislação.....	22
4. 2.3 FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL	24
5. 2.4 BIOMASSA E CARBONO FLORESTAL	26
6. 2.5 USO SENSORIAMENTOS REMOTO PARA A ESTIMATIVA DE BIOMASSA.....	27
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
7. 3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	31
8. 3.2 METODOLOGIA PARA ANÁLISE DA DINAMICA DOS ESTOQUES DE BIOMASSA E CARBONO NO NOROESTE DO RS	33
9. 3.3 METODOLOGIA PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA E CARBONO USANDO ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR....	35
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	38
10. 4.1 ANÁLISE DA DINAMICA DA ESPACIALIZAÇÃO DOS ESTOQUES DE BIOMASSA E CARBONO NO NOROESTE DO RS	38
11. 4.2 ESTIMATIVA DA BIOMASSA E CARBONO USANDO ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR.	48
12. 4.3 COMPARAÇÃO ENTRE AS DUAS METODOLOGIAS DESENVOLVIDAS	60
6 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	66

1 INTRODUÇÃO

As florestas brasileiras estão distribuídas nos seis biomas, e cobrem cerca de 58% do território nacional, incluindo florestas naturais e plantadas. Essa área representa a segunda maior cobertura florestal do mundo, sendo menor apenas que as florestas da Rússia. No sul do Brasil, a Floresta Estacional Decidual (FED) e a Floresta Ombrófila Mista (FOM), apresentam fragmentos nativos do bioma mata atlântica, distribuídos eminentemente ao longo da costa do atlântico e em regiões continentais subtropicais. Em geral, esses fragmentos remanescentes ainda carecem de estudos (SFB, 2013.; SFB, 2016.; SNIF, 2016.; SOS MATA ATLÂNTICA, 2017).

Devido à remoção da vegetação nativa até o fim do século XX, vivenciamos hoje a “era da vegetação secundária”, uma vez que a vegetação original se encontra reduzida e em processo de adaptação às novas condições, ocasionadas principalmente pelas atividades antrópicas (BRUN et al, 2005). Dentre as principais atividades antrópicas que ocasionam a redução e modificação das florestas destacam-se a agropecuária e a exploração madeireira (CORRÊA.; LOUZADA, 2010). Essas atividades têm levado ao acréscimo da concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera, em geral provenientes de emissões da queima de combustíveis fósseis e da mudança no uso da terra (WATZLAWICK et al, 2012.; UNFCCC, 2016).

Nesse cenário, a região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, possui remanescentes significativos de FOM e FED, alguns destes protegidos em áreas públicas e outros presentes em áreas particulares, com capacidade elevada de estocar biomassa e fixar o gás carbônico, considerando a tendência de aumento da cobertura florestal na região (ROSA et al., 2017a; 2017b).

Assim, entre os diversos serviços ambientais prestados pelas florestas (RIBEIRO et al, 2009), destaca-se a importância que possuem na fixação do carbono, uma vez que estocam grande quantidade deste gás fixando-o na forma de biomassa.

Esse fenômeno ocorre devido ao aumento das emissões e conseqüentemente, da concentração dos gases de efeito-estufa, principalmente dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), provenientes de emissões antrópicas, como a queima de combustíveis fósseis e a queima e/ou destruição das florestas. Segundo Chang (2004), o sequestro florestal do carbono se reporta ao processo de mitigação biológica das plantas onde elas absorvem o CO₂ do ar e fixam-no na forma de matéria lenhosa. Segundo o

Serviço Nacional de Informações Florestais - SNIF (2016), a biomassa florestal desempenha dois papéis fundamentais no ciclo atmosférico: primeiro é a fotossíntese, que retira CO₂ (gás carbônico) da atmosfera e o estoca o carbono na forma de biomassa; segundo é a queima de biomassa que emite o CO₂ novamente para a atmosfera. Assim, estudos sobre estoque de biomassa estão em voga, visto que as florestas podem ser tanto fonte de CO₂ quanto sequestradores e imobilizadores de carbono. Assim, de acordo com Chang (2002) a determinação e monitoramento do estoque de florestas são importantes para conhecer o estoque de carbono.

Para conhecer o estoque de carbono das florestas e observar o quanto elas estão auxiliando no processo das mudanças climáticas, existem dois procedimentos. Por meio da determinação da biomassa, chamado de método direto ou método destrutivo, para se obter uma estimativa, denominado de método indireto (BARRETO et al, 2014) ou método não destrutivo. O método indireto pode ser realizado através de inventário florestal, estimativas da biomassa através do ajuste de equações alométricas (TRAUTENMÜLLER, 2015) e ainda, pode ser estimado por meio de ferramentas como sistemas de informações geográficas (SIG) e dados de sensoriamento remoto (HENTZ et al, 2014). A combinação dessas últimas técnicas possibilita uma abordagem e escala nacional ou regional, de forma factível em termos econômicos e de tempo (FRANKLIN, 2001).

Dado o comprometimento do Brasil em reduzir as emissões dos gases de efeito estufa em 37% até o ano de 2025 considerando os níveis de emissões em 2005 (BEZERRA, 2016), é fundamental entender o papel das florestas nativas na mitigação das emissões do CO₂ e desenvolvimento de novos métodos, que permitem estimar a biomassa e carbono de florestas sem ser necessário o uso de metodologias diretas e que sejam eficazes para grandes áreas. Neste contexto, estudos que envolvem a quantificação da biomassa de maneira indireta, são de grande importância (CANAVESI e KIRCHNER, 2005), principalmente no que concerne às florestas nativas (RIBEIRO, 2009). Nesta linha, a combinação de SIG e imagens de satélite tem se destacado em estudos, como os realizados por Miguel et al (2015) e Cassol (2013). O uso de geotecnologias representa um método indireto que pode ser combinado com inventários florestais de campo (WATZLAWICK et al, 2007). Com os avanços tecnológicos captura e processamento de imagens digitais, tornado possível a caracterização detalhada da estrutura das florestas e, conseqüentemente de biomassa e carbono nela estocados.

Segundo Madugundu et al. (2008), os dados provenientes de sensoriamento remoto (SR), atualmente, são os mais confiáveis para a estimativa da biomassa em larga escala, ainda carecendo de novas metodologias para processamento destes dados de SR, para geração de estimativa de biomassa. Segundo Galvão et al. (2016), alguns índices como o *normalized difference vegetation index* (NDVI) (ROUSE et al., 1973) e o *enhanced vegetation index* (EVI) (HUETE et al., 2002) são índices relacionadas a pigmentos (por exemplo, clorofila e carotenoides) e parâmetros estruturais da planta/dossel como a área foliar, medida pelo IAF. Assim, podemos prever que esses índices estão estritamente relacionados a sucessão florestal e aos estágios de regeneração. O aumento do IAF leva ao aumento proporcional dos valores de NDVI (KNYAZIKHIN et al., 1999; MADUGUNDU et al., 2008), demonstrando que os níveis de NDVI podem ser indicadores dos valores do IAF, ainda consequentemente da biomassa da vegetação.

Diversos estudos têm proposto métodos para estimar a quantidade de biomassa estocada por florestas, como os de Watzlawick et al (2012), Vogel et al (2006) Brun et al (2005), entre outros autores, os quais resultando em incentivos econômicos por “Redução das Emissões por Desmatamento e Degradação florestal “(REDD) e Crédito de Carbono, com a finalidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa resultantes do desmatamento e da degradação florestal, entretanto, a validação desses programas necessita de estimativas locais de alta confiabilidade (CHANG, 2004). Devido a estes fatos, o presente trabalho vem a propor novas metodologias para estimativa da biomassa e carbono, bem como apresentar os estoques dos mesmos, em todo o Noroeste do RS. Nesse contexto os objetivos do presente trabalho são:

1.1 OBJETIVOS GERAIS

O objetivo do presente trabalho é estimar e estudar a dinâmica do estoque da biomassa e do carbono florestal em diferentes estágios sucessionais de florestas no Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.

1.1.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desta dissertação foram:

- Desenvolver metodologias para estimar a biomassa florestal na região de estudo;

- Estimar a biomassa e o carbono florestal por meio do uso de dados de imagens de satélite;

- Calibrar modelos empíricos indiretos de estimativa de carbono e de classificação em função do índice de área foliar estimado pelo NDVI para validar estimativas de estoque de biomassa.

- Estimar o estoque de biomassa e carbono florestal para toda a região noroeste do estado do RS, em florestais primárias e secundárias em diferentes estágios de regeneração.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 FORMAÇÕES FLORESTAIS

Segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2004.; SFB, 2013) para ser considerada uma floresta o fragmento deve possuir área maior que 0,5 ha, onde encontram-se árvores maiores de 5 m de altura e uma cobertura de copa superior a 10%, agrupadas em tipologias de vegetação lenhosas, onde as copas se toquem formando um dossel (SFB, 2016).

O Brasil possui a segunda maior área florestal do mundo, perdendo apenas para a Rússia, totalizando 58% de cobertura do território (463 milhões de ha) de florestas nativas e plantadas (SFB, 2013.; SFB, 2016.; SNIF, 2016), dividindo-se em seis biomas: Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Caatinga, Pampa e Pantanal.

Segundo o IBGE (2004) um bioma é:

“um conjunto de vida (vegetal e animal) constituído pelo agrupamento de tipos de vegetação contíguos e identificáveis em escala regional, com condições geoclimáticas similares e história compartilhada de mudanças, o que resulta em uma diversidade biológica própria”.

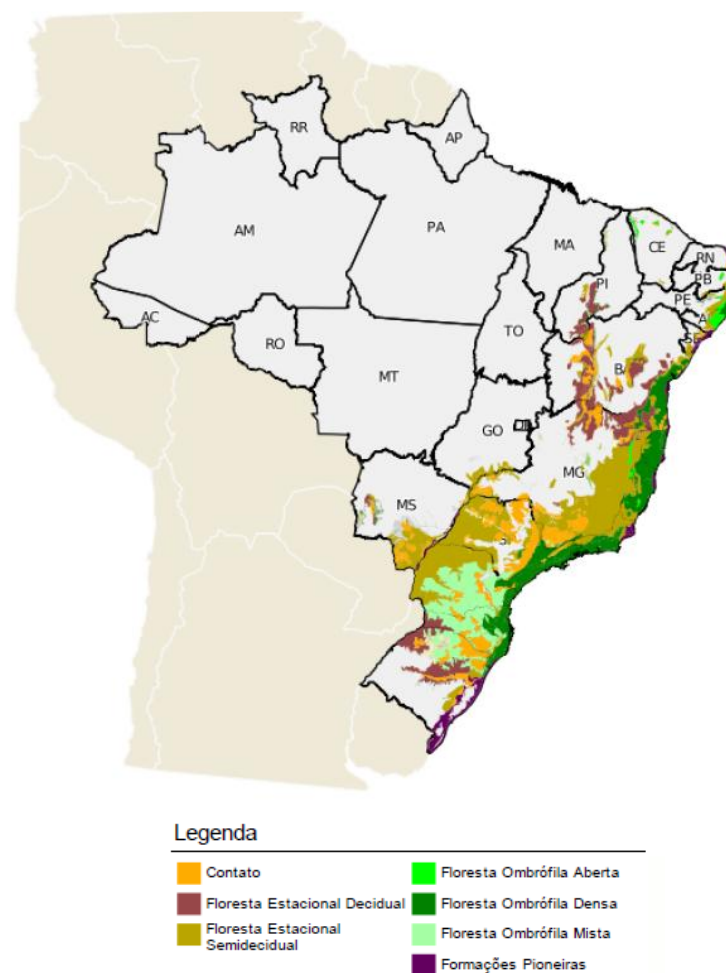
O Bioma Mata Atlântica ocupa três estados inteiros, Espírito Santo, Rio de Janeiro e Santa Catarina e 98% do Paraná, além de partes de outras 11 unidades da federação estando incluído o noroeste do estado do Rio Grande do Sul (IBGE, 2004). Este bioma ocupa toda a faixa continental atlântico leste brasileira estendendo-se até o Sudeste e Sul do País, definido pela vegetação florestal predominante e relevo diversificado. O Bioma e seus ecossistemas associados se estendiam originalmente em área de 1,1 milhão de km² totalizando 13% do território brasileiro. Entretanto, devido a séculos de ocupação e alteração do uso do solo, a área florestal da Mata Atlântica foi drasticamente reduzida para cerca de 218 mil km², estando atualmente fragmentada (SFB, 2016).

Atualmente os remanescentes de vegetação nativa estão reduzidos a cerca de 22% de sua cobertura original e se encontram em diferentes estágios de regeneração (MMA, 2016). Ainda que reduzida e muito fragmentada, na Mata Atlântica abriga cerca de 20.000 espécies de plantas vasculares, contendo diversas espécies endêmicas e ameaçadas de extinção. Essa diversidade é maior que a de continentes inteiros (17.000 espécies na

América do Norte e 12.500 na Europa) e por isso o bioma da Mata Atlântica é importante para a conservação da biodiversidade mundial (MMA, 2016).

O bioma é composto por diversas formações florestais, como floresta ombrófila (densa, mista e aberta), floresta estacional semidecidual e estacional decidual, manguezais, restingas e campos de altitude associados e ainda brejos interioranos no Nordeste. As florestas com Araucária (ombrófila mista) ocorrem nos planaltos da região Sul (SFB, 2013.; SFB, 2016.; MMA, 2016). As tipologias pertencentes ao bioma Mata Atlântica e que se encontram no noroeste do estado do Rio Grande de do Sul são as florestas ombrófila mista e estacional decidual (FIGURA 1).

Figura 1: Mapa do bioma Mata Atlântica e a distribuição das tipologias florestais.



Fonte: SOS Mata Atlântica, 2015.

O nome floresta ombrófila, segundo o SFB (2016) tem origem grega e significa "amigo das chuvas", o que em latim significa pluvial, então, caracteriza uma formação vegetal cujo crescimento e desenvolvimento dependem de um regime de águas abundantes e constantes. A floresta ombrófila mista é semelhante à floresta ombrófila, porém com predomínio da espécie *Araucaria angustifolia*, sendo também conhecida como Mata de Araucária ou pinheiral, típica vegetação do Planalto Meridional (IBGE, 1992.; IBGE, 2012), onde as chuvas são regularmente distribuídas ao longo do ano e as temperaturas são mais baixas.

A floresta estacional decidual é também conhecida como Floresta Tropical caducifólia (IBGE, 2012.; SFB, 2016) onde a vegetação perde 50% de suas folhas no período desfavorável, que são identificadas em duas situações na zona tropical, devido a uma estação chuvosa seguida de um período seco; e na zona subtropical, onde não se apresenta um período seco, é presente uma estação com inverno frio (temperaturas médias mensais menores ou iguais a 15° C, o que causa repouso fisiológico e a queda parcial das folhagens). Enquadram-se na zona subtropical as florestas da borda do Planalto Meridional, do Estado do Rio Grande do Sul, que exibe o estrato florestal superior predominantemente decíduo, localizada no vale do Rio Uruguai, entre a Floresta Ombrófila Mista (Floresta-de-Araucária) do Planalto Meridional e a Estepe (Campos Gaúchos), caracterizada como Floresta Estacional Decidual Montana, devido a parâmetros altimétricos de acordo com as latitudes encontradas, explicado pelas grandes diferenças de temperaturas (IBGE, 1992.; IBGE, 2012).

2.2 SUCESSÃO FLORESTAL

As florestas podem ser classificadas como primárias ou secundárias, de acordo com seu estágio sucessional. As florestas primárias são originárias da ocupação de um solo antes não colonizado, a primeira formação florestal que nasceu, são florestas muito antigas e que passam a existir em locais antes nunca vegetados (SCHAFFER; PROCHNOW, 2002). As formações florestais, que surgem em uma área que já sofreram modificações afetando a vegetação preexistente, como uma área utilizada pela agricultura, ou que sofreu desmatamento, são intituladas de sucessão secundária (ODUM, 1988; PILLAR, 1994).

A dinâmica é uma característica essencial dos ecossistemas. Os processos de dinâmica da sucessão natural das florestas dependem fundamentalmente de distúrbios originados por diferentes agentes (MACIEL et al, 2003). Um dos maiores responsáveis por distúrbios em áreas florestais é o homem, juntamente com outros fatores naturais que modificam a dinâmica interna. Uma floresta que atinge o estágio clímax, não é um sistema uniforme e imutável. É um conjunto heterogêneo de estágios de idades diferentes que foram criadas por distúrbios, tais como o vento, o fogo, raio, queda de árvores ou ações antrópicas (DAJOZ, 2006; TOWNSEND et al, 2006). Este processo é representado pela gradativa mudança do arranjo florístico da floresta (MACIEL et al, 2003).

Os diferentes estágios sucessionais apresentam, na grande maioria, as mesmas características, inicialmente sucessão rápida de estágios relativamente curtos, posteriormente de uma evolução cada vez mais lenta, com maior duração dos estágios. Assim, a biomassa neste ecossistema aumenta e, depois de certo tempo atinge um valor estável. (DAJOZ, 2006). A sucessão florestal se configura de forma não previsível e não unidirecional. Os indivíduos são observados como organismos, que nascem, crescem, alcançam a maturidade e posteriormente morrem (CLEMENTS, 1916). Odum (1988) sugere ainda que a sucessão parte de ecossistemas simples para os mais complexos, em direção à máxima biomassa e biodiversidade. A sucessão secundária é subdividida conforme o estágio de desenvolvimento, sendo eles três: Sucessão secundária em estágio inicial de regeneração, sucessão secundária em estágio médio de regeneração e sucessão secundária em estágio avançado de regeneração (BRASIL, 1994).

As sucessões secundárias em estágio inicial (FIGURA 2) passaram a existir posterior ao abandono de áreas agrícolas ou de pastagens. A sucessão inicial é capaz de perdurar por mais de 10 anos atribuídos ao grau de degradação ou da insuficiência de sementes no solo. As formações iniciais que surgem são capoeiras que na maioria das vezes é composta por uma grande quantidade de capins e samambaias. Árvores pioneiras também prevalecem em abundância, assim como as *Baccharias* spp, comumente chamadas de vassouras e vassourinhas, com altura média das não ultrapassando os 3 metros e o diâmetro médio a altura do peito de 8 centímetros (SCHAFFER; PROCHNOW, 2002.; PROCHNOW, 2008).

Figura 2: Fotografias que ilustram as características típicas de uma Floresta Secundária em Estágio Inicial de regeneração na região de estudo.



Fonte: Balbinot, 2009.

O estágio médio de regeneração (FIGURA 3) passa a existir logo após o inicial, onde a diversidade biológica cresce, proporcionando uma estrutura mais desenvolvida. Encontram-se presentes determinadas espécies pioneiras, as samambaias e plantas rasteiras passam a ser menos predominantes, e há grande concentração de cipós e taquaras (PROCHNOW, 2008).

Figura 3: Fotografias que ilustram as características típicas de uma Floresta Secundária em Estágio Médio de regeneração.



Fonte: Balbinot, 2009.

O estágio avançado (FIGURA 4) de regeneração tem início aproximadamente após 15 anos do início da regeneração natural, podendo aproximar-se de 200 anos (ou mais) para alcançar uma diversidade semelhante à de uma floresta primária. Neste estágio as capoeiras e a samambaias não são tão presentes, o sub-bosque é bem desenvolvido, onde os cipós e taquaras ocorrem em equilíbrio com as árvores. O porte das árvores é maior que 8 m e começam a surgir espécies nobres como canelas, cedros e imbuías (PROCHNOW, 2008).

Figura 4: Fotografias que ilustram as características típicas de uma Floresta Secundária em Estágio Avançado de regeneração.



Fonte: Balbinot, 2009.

2.2.1 Sucessão Florestal segundo a Legislação

As definições dos três estágios sucessionais de regeneração florestal (inicial, médio e avançado) foram obtidos conforme a resolução do CONAMA (BRASIL, 2007; BRASIL, 1994; BRASIL, 1993). Sendo, estágio inicial, aquele que predomina a vegetação herbácea chamada de capoeira ou capoeirão, vegetação constituída principalmente de vassouras e samambaias, com o diâmetro à altura do peito (DAP) máximo ou igual a 8 cm e altura máxima de 3 m. O estágio médio de regeneração é formado principalmente pela vegetação arbustiva/arbórea, com no máximo até 15 cm de DAP e 8 m de altura, o sub-bosque bem característico. O estágio avançado ou formação

arbórea, apresenta mais de 15 cm de DAP e altura superior a 8 m, com uma grande biodiversidade presente, na qual está incluída a categoria de florestas primárias.

Vegetação primária é toda aquela que ilustre máxima importância local contendo grande biodiversidade, onde ações antrópicas tenham gerado mínimos efeitos, não comprometendo as características originais do sítio. A vegetação secundária ou em regeneração são as formações resultantes de processos naturais, ou por ações antrópicas, que sofreram supressão total ou parcial da vegetação original, são vegetações herbáceas, arbustivas ou arbóreas (BRASIL, 2007; BRASIL, 1994, BRASIL, 1993).

A vegetação secundária é definida em três classes tipológicas de sucessão, Floresta em estágio inicial de regeneração, Floresta em estágio médio de regeneração e Floresta em estágio avançado de regeneração. Definidos conforme Lei (BRASIL, 2016) e Resoluções do Conama (BRASIL, 2007; BRASIL, 1994; BRASIL, 1993) demonstrados a seguir:

I - Estágio inicial de regeneração: A vegetação possui fisionomia herbácea/arbustiva, podendo ocasionalmente exibir indivíduos arbóreos, com altura média de formação de até três metros e Diâmetro à Altura do Peito menor ou igual a oito centímetros. Quando existentes as epífitas, são representadas principalmente por Líquens, Briófitas e Pteridófitas com baixa diversidade; e as trepadeiras são geralmente herbáceas. A serapilheira forma uma camada fina, pouco decomposta, que pode ser contínua ou não. A diversidade biológica é variável, podendo apresentar plântulas de espécies características de outros estágios; ausência de subosque; a composição florística consiste basicamente de: *Andropogon bicornis* (rabo-de-burro); *Pteridium aquilinum* (samambaias); *Rapanea ferruginea* (capororoca); *Baccharis* spp. (vassouras); entre outras espécies de arbustos e arvoretas.

II - Estágio médio de regeneração: a vegetação apresenta fisionomia de porte arbustivo/arbóreo cuja formação florestal apresenta altura de até oito metros e Diâmetro à Altura do Peito de até 15 centímetros. A cobertura arbórea varia de aberta a fechada com ocorrência eventual de indivíduos emergentes; as epífitas ocorrem em maior número de indivíduos em relação ao estágio inicial, sendo mais encontrado na Floresta Ombrófila; quando presentes, as trepadeiras geralmente são lenhosas; a serapilheira possui espessura variável, conforme estação do ano e a localização; diversidade biológica significativa; subosque presente; e a composição florística caracterizada pela presença de: *Rapanea ferruginea* (capororoca); *Baccharis dracunculifolia*, *Baccharis articulata* e *Baccharis discolor* (vassouras); *Inga marginata* (ingá-feijão); *Bauhinia*

candicans(pata-de-vaca); *Trema micrantha* (grandiuva); *Mimosa scabrella* (bracatinga); *Solanum auriculatum* (fumo-bravo).

III - Estágio avançado de regeneração: vegetação com fisionomia arbórea predominante sobre os demais estratos, formando um dossel fechado, uniforme, de grande magnitude diamétrica, possuindo altura superior a oito metros e Diâmetro a Altura do Peito médio, superior a 15 centímetros; as espécies emergentes, ocorrem com distintos graus de intensidade; as copas superiores do dossel, são horizontalmente amplas, sobre os estratos arbustivos e herbáceos; são presentes as epífitas com grande número de espécies, grande abundância, especialmente na Floresta Ombrófila; as trepadeiras em geral, são lenhosas; serapilheira abundante; este estágio possui grande diversidade biológica e podem apresentar fisionomia semelhante a vegetação primária; o subosque, em geral é menos expressivo do que no estágio médio; e a composição florística pode ser caracterizada pela presença de: *Cecropia adenopus* (embaúba); *Hieronyma alchorneoides* (licurana); *Nectandra leucothyrsus* (canela-branca); *Schinus terebinthifolius* (aroeira vermelha); *Cupania vernalis* (camboatá-vermelho); *Ocotea puberula* (canela-guaicá); *Piptocarpha angustifolia* (vassourão-branco); *Parapiptadenia rigida* (angico-vermelho); *Patagonula americana* (guajuvira); *Mataybaea leagnoides* (camboatá-branco); *Enterolobium contortisiliquum* (timbaúva).

2.3 FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL

Existem inúmeras desuniformidades no espaço físico do mundo, provocadas pelo aquecimento desigual da terra, levando a variações espaciais, condicionando características do ar e das águas que, quando associadas ao relevo e às distintas formas dos continentes, criam condições diferentes de clima. O clima associado aos minerais e as rochas, por sua vez propicia condições para o desenvolvimento diferentes solos, onde se estabelecem diferentes tipos de espécies animais e vegetais, assim o mundo é um mosaico heterogêneo (CERQUEIRA et al, 2003).

Diferentemente deste processo natural a fragmentação é o processo que incide em separar um todo em partes. Um fragmento por tanto é uma parte retirada da unidade como um todo, uma divisão em partes, que passa a ter condições ambientais diferentes em seu entorno. Não é somente resultada de florestas derrubadas, ela pode referir-se às alterações no habitat original. Ela representa um processo no qual um habitat contínuo é dividido em manchas, ou fragmentos (CERQUEIRA et al, 2003.; CERQUEIRA et al, 2005). O processo global de fragmentação de ambientes é possivelmente, a mais profunda alteração

causada pelo homem ao meio ambiente. Muitos habitats naturais que eram praticamente contínuos foram transformados em paisagens parecidas a um mosaico, composto por manchas isoladas de vida original. Intensa fragmentação de habitats vem acontecendo na maioria das regiões tropicais (CERQUEIRA et al, 2003.; CERQUEIRA et al, 2005). A fragmentação florestal é originária de causas naturais e de causas antrópicas, destacando-se a segunda como a maior causadora deste feito (CERQUEIRA et al, 2005).

As principais categorias de mudanças que tem se tornado frequente nas florestas do mundo são a redução na área total das florestas, a conversão de florestas nativas em plantações e monoculturas (agricultura), e a fragmentação progressiva de remanescentes de florestas naturais em pequenas manchas isoladas por plantações ou pelo desenvolvimento agrícola e pecuário, industrial ou urbano (CERQUEIRA et al, 2005.; IBGE, 2012). A fragmentação de florestas é uma consequência da atual dinâmica do uso e ocupação do solo pelo homem, onde uma área continua resulta em um grande número de fragmentos florestais isolados e de diferentes tamanhos (CEZARI; LOLIS, 2016).

A dinâmica dos fragmentos florestais é principalmente afetada por fatores como a forma, o tamanho, grau de isolamento e o tipo de vizinhança, que são os fundamentais causadores da diminuição da diversidade no novo fragmento formado (VIANA; PINHEIRO, 1998). Dentre as causas naturais encontram-se a destruição provocada por tempestades, heterogeneidade de solos, com certos tipos de vegetação restritos a tipos específicos de solos como, por exemplo, as matas calcárias, e, flutuações climáticas, que podem causar expansão ou retração de determinados tipos de vegetação (CERQUEIRA et al, 2005). E entre causas antrópicas, em primeiro lugar encontra-se a mudança do uso do solo para a agropecuária, isso se deve principalmente à grande extensão de área envolvida, à velocidade e à maneira desordenada com que têm sido desenvolvida provocando um aumento na fragmentação de florestas nativas (CORRÊA.; LOUZADA, 2010), seguida de outras causas como o extrativismo e exploração, a urbanização, queimadas também ligadas a novas conversões de área para a agropecuária, laser e infraestrutura de transportes.

No Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (RS), ao longo do Rio Uruguai e seus contribuintes, se expande uma densa floresta, caracterizada principalmente por um estrato arbóreo superior que é formado por árvores altas e emergentes, em maior parte decíduas (SCIPIONI et al, 2011). Ainda são presentes nesta área Floresta Ombrófila Mista e áreas de ecótono, que são áreas de transição florística entre tipos de vegetação (Ex. Floresta Ombrófila Mista/Floresta Estacional Decidual) (PROCERGS, 2016).

As formações florestais, no noroeste do RS, apresentam grande variação na composição florística e na organização espacial dos indivíduos. Essas variações são ocasionadas principalmente pelas diferenças de altitude, e pela proximidade ou distanciamento dos corredores de entrada de espécies tropicais no Estado: no Leste, entre as encostas da Serra Geral e o Oceano Atlântico, e no Oeste, ao longo da bacia dos rios Paraná-Uruguai (SCIPIONI et al, 2011).

Estas formações são as mais ameaçadas e as menos estudadas e conhecidas das formações florestais. Atualmente, elas encontram-se altamente fragmentadas, com poucos estudos de longa duração, os quais tendem principalmente para o manejo e conservação desses recursos, carecendo de estudos da dinâmica de estoques de biomassa e carbono (SCIPIONI et al, 2011).

2.4 BIOMASSA E CARBONO FLORESTAL

As formações florestais exercem fundamental papel no ciclo global do carbono, pois armazenam em sua biomassa mais carbono do que o existente na atmosfera (WEBER et al, 2006). As florestas estocam o carbono, fixado mediante o processo de fotossíntese (SCHOENINGER et al, 2008). Segundo Sanquetta (2002), a biomassa também pode ser chamada de fitomassa, quando se refere à quantidade de massa do material vegetal de uma floresta, podendo ser expressa por massa verde ou massa seca. Segundo Caldeira (2003), a massa verde refere-se à amostra fresca do material recém coletado, que contém um volume de água variável; a massa seca refere-se à biomassa obtida após secagem da amostra em estufa (RATUCHNE et al, 2015).

Em geral, a biomassa florestal é composta por 50% de carbono, 43% de oxigênio, 6% de hidrogênio e 1% dos demais elementos minerais; essas concentrações dos constituintes da biomassa variam conforme a espécie, a fase de desenvolvimento da vegetação, o estado nutricional das plantas e de acordo com as condições edafoclimáticas (RATUCHNE et al, 2015).

Tratando-se da quantificação do carbono, o teor desse componente tem variado entre trabalhos de diferentes autores, para diferentes espécies (RATUCHNE et al, 2015). Na determinação do estoque de carbono na China, Wang et al (2001) utilizam um fator constante de concentração de carbono de 0,45, o qual vem servindo de base em inúmeros estudos. A concentração de carbono obtida por Higuchi e Carvalho Júnior (1994) está em

torno de 48%, valor que está dentro dos limites de concentrações em florestas tropicais, que é de 46 a 52%. Ainda segundo Schneider et al (2005), o fator de conversão para se obter o estoque de carbono da biomassa, varia conforme o tipo florestal (espécies), a região (qualidade do sítio), o estágio de desenvolvimento (classe de idade) e atividade humana. Assim, a correta informação sobre as concentrações e fatores de correção é fundamental para simular cenários futuros.

A emissão de carbono (CO_2) é procedente, na maioria das vezes, de causas antrópicas (SCHOENINGER et al, 2008), sendo consequência especialmente, de duas atividades humanas: a queima de combustíveis fósseis (gás natural, carvão, petróleo) e a destruição e queima das florestas (RATUCHNE et al, 2015). Dentre os elementos do balanço global de carbono, os mais complexos e difíceis de serem estimados são os elementos naturais, pois estes ocupam grandes áreas, são de difícil acesso, e desenvolvem modificações decorrentes de mudanças no clima (temperatura) além da composição de espécies, entre outras explicações (SCHOENINGER et al, 2008).

Segundo dados do Global Carbon (2016), vários cenários preveem que o uso da terra, que atualmente é uma fonte substancial de emissão de CO_2 para a atmosfera, irá se tornar um mitigador de CO_2 da atmosfera quando as florestas voltarem a crescer, devido a incentivos de programas. Assim, estudos relacionados à determinação e estimativa da biomassa são de fundamental importância. A estimativa de biomassa das florestas brasileiras é feita a partir de estudos que determinam o volume de madeira por unidade de área para as diversas tipologias de florestas (SFB, 2016).

Segundo Sanquetta (2002), trabalhos de quantificação da biomassa e do carbono florestal podem ser alcançados por determinações ou estimativas, onde, determinação é a medição real da biomassa. Já a estimativa é calculada utilizando relações quantitativas ou matemáticas, empregando o uso de dados provenientes de inventários florestais. Dentre as inúmeras formas de estimativa do estoque de biomassa, tem-se o uso de sistemas de informações geográficas, que utilizam de dados de sensoriamento remoto, como as imagens de satélite (SCHOENINGER et al, 2008) ou ainda de ajuste de equações alométricas (TRAUTENMÜLLER, 2015).

2.5 USO SENSORIAMENTOS REMOTO PARA A ESTIMATIVA DE BIOMASSA

O uso de dados de Sensoriamento Remoto é largamente utilizado na agricultura e produção de alimentos, geologia, exploração de petróleo e mineral, geografia, uso e

ocupação do solo, área urbana, monitoramento ambiental entre outras inúmeras finalidades (GOVENDER et al, 2007). Sensores multiespectrais clássicos como a série Landsat-TM, ETM e OLI permitem um frequente recobrimento temporal de grandes áreas e com resolução espacial adequada (GONG et al, 2013; PICKELL et al, 2016). A finalidade do sensoriamento remoto é permitir que nas imagens seja feita a extração das feições espectrais de reflectância/absorção as quais reconhecem a composição dos objetos (MENESES et al, 2012; BISSO, 2010).

Para extrair informações de imagens a partir do uso de SR é importante o conhecimento do comportamento espectral dos elementos na superfície terrestre. Comportamento espectral é comumente empregado para interpretar as características de reflectância da radiação eletromagnética pelas folhas, plantas individuais e um conjunto de plantas, ainda que a distinção do comportamento espectral de um alvo esteja associada aos processos de reflexão, transmissão e absorção (BISSO, 2010).

Diferentes materiais são discriminados pelas diferentes taxas de absorção, transmissão e reflexão em função de suas características. O padrão de reflectância de cada alvo é conhecido como assinatura espectral, e pode ser utilizado para estimar informações da planta em estudo (ou outro alvo). Como exemplo tem-se a folha, onde a clorofila absorve a faixa dos comprimentos de onda do azul e do vermelho (450 nm – 670 nm), e reflete o comprimento de onda do verde (GOVENDER et al, 2007), e a elevada reflectância na banda infravermelha (NIR) que está relacionada com os aspectos fisiológicos da folha e varia com o seu conteúdo de água na estrutura celular superficial (STEFFEN, 2016). Neste contexto, indicadores fisiológicos e estruturas das plantas, tais como: índice de área foliar, teor de água, planta pigmento, arquitetura da copa e densidade, têm sido estimados a partir de dados de sensoriamento remoto (GOVENDER et al, 2007).

Dados de sensoriamento remoto têm sido explorados para estimar características do dossel usando abordagens empíricas com base em índices espectrais. Deste modo, empregando imagens de sensoriamento remoto, é possível calcular diversos índices de vegetação através da combinação de distintas faixas espectrais de forma a realçar feições de interesse (GALVÃO et al, 2016). Dentre estes, um dos índices muito empregado é o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI - índice da vegetação por diferença normalizada), que é estreitamente relacionado ao verdor das folhas (pigmentos como a clorofila e carotenoides) e a características estruturais da vegetação (ROUSE et al., 1973; GALVÃO et al, 2016; MENESES et al, 2012; GOODENOUGH et al, 2006).

O NDVI é expresso pela fórmula:

$$NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{RED})}{(\rho_{NIR} + \rho_{RED})}$$

Onde: NDVI: *Normalized Difference Vegetation Index*

NIR: Reflectância da Banda do infravermelho próximo

RED: Reflectância da Banda do vermelho

Existem fatores que afetam a curva espectral, como a orientação, a posição topográfica das formações florestais (inclinação), o arranjo de plantas, modificações na visualização de iluminação, causando efeitos de sombra que, por sua vez, interferem na resposta espectral. Tais efeitos podem afetar as relações entre reflectância e parâmetros biofísicos (TAIZ e ZEIGER, 2006; BREUNIG et al., 2015; GALVÃO et al., 2016).

A compreensão dos efeitos das diferentes respostas espectrais é importante na quantificação de parâmetros biológicos tais como a reflectância, índices de vegetação, Índice de área foliar (IAF), densidade florestal, biomassa acima do solo. (MADUGUNDU et al, 2008). Em seus estudos, Madugundu et al (2008), demonstram que os níveis de NDVI encontrados, são bons indicadores dos valores de IAF. Ainda segundo estes mesmos autores, os dados provenientes de sensoriamento remoto, atualmente, são os mais confiáveis para a estimativa da biomassa em larga escala.

As imagens geradas a partir dos sensores TM e ETM dos satélites LANDSAT 5 e 7 possuem sete bandas, sendo que cada banda representa uma faixa do espectro eletromagnético captada pelo satélite (INPE, 2016). Segundo INPE (2017), conforme o intervalo do espectro tem-se inúmeras finalidades de utilização, como:

- Banda do azul (0,45 - 0,52): Proporciona grande penetração em corpos de água, que possuem elevada transparência, admitindo estudos batimétricos. É absorvida pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides), além de exibir sensibilidade a fumaça originária de queimadas ou atividade industrial.
- Banda do verde (0,52 - 0,60): Também possui boa penetração em corpos de água, e proporciona grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade.

- Banda do vermelho (0,63 - 0,69): A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção neste comprimento de onda, tornando-se escura, permitindo um bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação, além de áreas com diferentes tipos de vegetação. Ainda, permite a identificação de áreas agrícolas.
- Banda do Infravermelho-Próximo (0,76 - 0,90): A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia neste comprimento de onda, as quais aparecem bem claras nas imagens. Expõe grande sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal) e serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas, ainda consente a identificação de áreas agrícolas.

Os satélites LANDSAT 5 e 7 revisitam (observam) a mesma área a cada 16 dias. Uma imagem do satélite representa no solo uma área de alcance de 185 x 185 km. A resolução geométrica das imagens nas bandas 1 a 7 menos a banda 6 é de 30 m. Para a banda 6, a resolução é de 120 m (INPE, 2016).

A série LANDSAT (*Land Remote Sensing Satellite*) teve início no final da década de 60, a partir de um projeto desenvolvido pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) votado exclusivamente à observação dos recursos naturais terrestres (NASA, 2016).

O emprego de dados procedentes de sensores remotos para a estimativa da biomassa se tornou uma opção importante, porque além da facilidade de aplicação, ainda reduz o custo e tempo gastados com inventários florestais (LE MAIRE et al., 2011). A utilização das tecnologias originárias do sensoriamento remoto demonstra ser eficaz para análise da cobertura florestal, pois permite acompanhar as sucessivas mudanças no crescimento, estoque de biomassa e mitigação do carbono decorrentes da dinâmica de um ecossistema florestal natural (HENTZ et al., 2014).

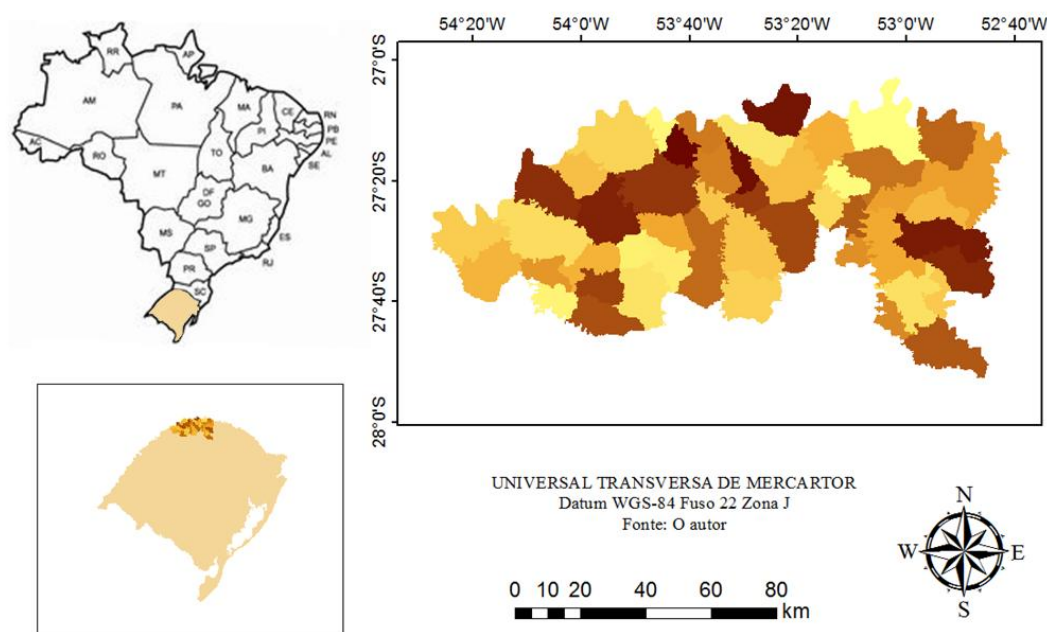
Entre inúmeros estudos realizados com os índices de vegetação, é possível se citar os realizados por Hentz et al (2014), que aplicaram técnicas de Sensoriamento remoto para estimativa de biomassa em ambientes florestais. Outros trabalhos encontrados são de Rosendo (2005), que utilizou índices de vegetação e o monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na bacia do rio Araguari - MG - utilizando dados do sensor MODIS, e de Gusson (2014), que fez a avaliação de métodos pra a quantificação de biomassa e carbono em florestas nativas e restauradas da Mata Atlântica, com uso de NDVI. Além de trabalhos de Watzlawick; Kirchner; Sanquetta (2009), os quais utilizaram imagens de satélite para realizar a estimativa da biomassa e carbono.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é pertence à mesorregião Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, abrangendo as microrregiões de Frederico Westphalen e a de Três Passos (IBGE, 1990). A área de estudo engloba 9.127 km² (FIGURA 5).

Figura 5: Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Limites políticos obtidos do IBGE (2008).

A região é formada pelo planalto basáltico de formação vulcânica, originadas por magma resfriado na superfície da crosta terrestre, formando rochas basálticas (contém mais Fe, Ca e Mg) e riolitos (contém mais silício, e menos Fe, Ca e Mg) da Formação Serra Geral. A região é conhecida por Alto Uruguai, possuindo um relevo ondulado a fortemente ondulado, onde ocorrem Neossolos Litólicos ou Regolíticos Eutróficos, Chernossolos Argilúvicos Férricos e Cambissolos háplicos Eutróficos. Nas áreas de relevo suave ondulado, ocorrem Latossolos Vermelhos Distroférricos e Eutroférricos, além de Nitossolos Brunos e Vermelhos Distroférricos (STRECK et al, 2008).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da área de estudo, é do tipo Cfa (Clima mesotérmico, sempre úmido e verões brandos) subtropical úmido (KÖPPEN, 1931; ALVARES et al 2013), e devido ao fato da posição geográfica, entre os paralelos, do Rio Grande do Sul, apresenta grandes diferenças em relação ao resto do Brasil. A latitude enfatiza as influências das massas de ar oriundas da região polar e da área tropical continental e Atlântica, onde a movimentação e os encontros dessas massas definem muitas características climáticas regionais (SEPLAN, 2016).

As temperaturas expressam grande variação sazonal, com verões quentes (mês de janeiro) e invernos rigorosos (mês de julho), com a ocorrência de geada. As temperaturas médias variam entre 15 e 18°C, com mínimas de até -3°C e máximas de 40°C (SEPLAN, 2016.; SEMA, 2005). A precipitação pluviométrica é bem distribuída ao longo do ano, em decorrência das massas de ar oceânicas que penetram no Estado, atingindo uma precipitação de 1.665 mm em média. Os meses que possuem índices de precipitação mais elevados são abril, maio, junho e outubro, com as precipitações médias superiores a 165 mm, e os meses nos quais as precipitações médias são significativamente inferiores são fevereiro, julho, agosto e dezembro possuindo precipitações inferiores a 115 mm (SEMA, 2005; SEPLAN, 2016).

Na região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul se encontram as terras mais altas, chamadas de Planalto Meridional. A região, inicialmente desenvolveu uma economia fundamentada na agricultura diversificada, principalmente familiar, a qual cedeu espaço posteriormente para as lavouras mecanizadas. Algumas cidades desenvolveram o setor industrial vinculado à agricultura – indústria alimentar e de máquinas e implementos agrícolas (MEC, 2016).

A região foi colonizada por várias etnias, mas principalmente por italianos, alemães e portugueses. Pouco valorizada por grandes produtores, era considerada desprezível por não ser útil para a criação de gado e possuir muitas áreas de mata virgem. Por isso, esses grandes proprietários venderam áreas em pequenos lotes para pequenos agricultores com o objetivo de colonização (CUNHA et al, 2011). Posteriormente, a região alavancou seu crescimento, devido à boa qualidade das terras, muito férteis para a agricultura, além de outras atividades minifundiárias, como a suinocultura, a produção de leite e a avicultura, todas associadas a um desmatamento intensivo, para se estabelecer plantações em relevo íngreme e rochoso (CUNHA et al, 2011).

A microrregião de Frederico Westphalen possui uma área total de 5.271km², com uma população média de 180.174 habitantes em 2007. A economia está embasada na

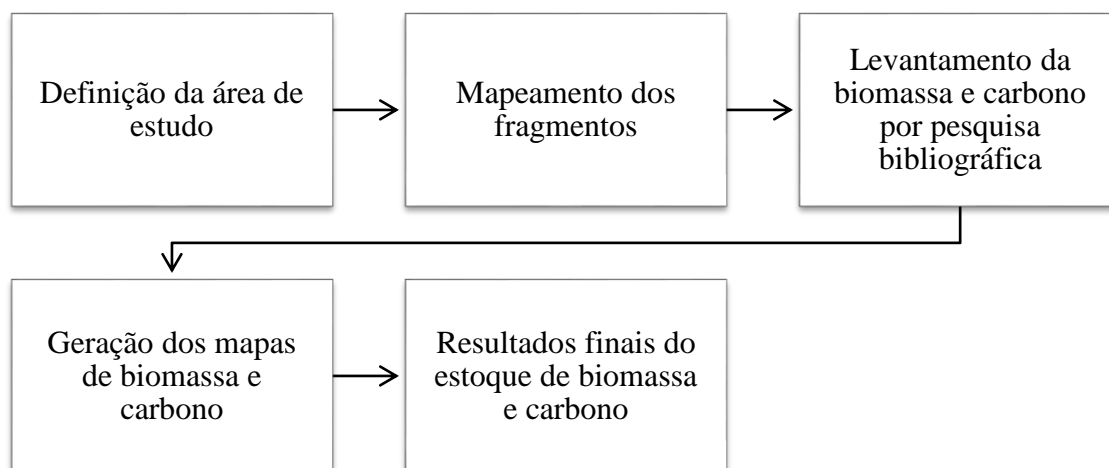
produção agropecuária, pois 53,8% do total da população ocupada encontra-se neste setor econômico, caracterizada como familiar de produção diversificada, fundamentada no trinômio soja/trigo/milho, com grande crescimento da pecuária em especial para bovino de leite (ARNS; PIOVEZANA, 2008).

A microrregião de Três Passos possui uma área total de 3.856,166 km², e uma população média estimada pelo IBGE em 2005 de 141.637 habitantes. A economia está baseada na prestação de serviços, na agropecuária caracterizada como pequenas propriedades de cunho familiar, especialmente na produção de gado leiteiro, estando entre as 10 microrregiões de maior produção de leite, além da produção vegetal entre elas lavouras de soja e trigo. Ainda são de grande importância na economia às indústrias, compostas por pequenas empresas além de multinacionais (IBGE, 2006.; STEIN; CONTERATO, 2016.; ROVANI; WERLANG; CASSOL, 2008.; MARION; FAGUNDES; SCHUMACHER, 2012).

3.2 METODOLOGIA PARA ANÁLISE DA DINÂMICA DOS ESTOQUES DE BIOMASSA E CARBONO NO NOROESTE DO RS

O resumo das atividades que foram desenvolvidas na metodologia da análise da dinâmica da espacialização dos estoques de biomassa e carbono no noroeste do RS, estão apresentadas no fluxograma a seguir (FIGURA 6).

Figura 6: Fluxograma do resumo da metodologia a ser desenvolvida.



A área de estudo foi selecionada devido à sua grande importância ecológica, social e principalmente, pelo estoque de biomassa e mitigação do carbono na região sul do país, e por ainda carecer de estudos.

Fragmentos menores que cinco hectares foram considerados floresta secundária em estágio inicial de regeneração, os fragmentos maiores que cinco e menores que 10 hectares, classificados como estágio médio, e os fragmentos com mais de 10 hectares como estágio avançado. As formações primárias também foram consideradas como estágio avançado de regeneração devido ao fato de que mesmo em fragmento muito grandes houve intervenções de corte seletivo de madeiras de alto valor no passado (SEMA, 2005.; ERTHAL, *em avaliação*), e, principalmente, pela dificuldade de separação destas formações. Essa consideração para as formações primárias busca manter um caráter conservados para as estimativas de biomassa estimadas para este estágio.

Esses limiares foram baseados na experiência e conhecimento de campo, dos fragmentos florestais e de sua estrutura interna dividida em florestas primárias ou secundárias em estágio inicial, médio ou avançado de regeneração.

Cada fragmento foi analisado ainda conforme sua evolução no tempo, o qual neste contexto de tamanho dos fragmentos foi fundamental para não ocasionar erros, devido ao fato, de que muitos fragmentos pequenos eram estágios médios e avançados de regeneração. Foram analisados no total 74.418 fragmentos.

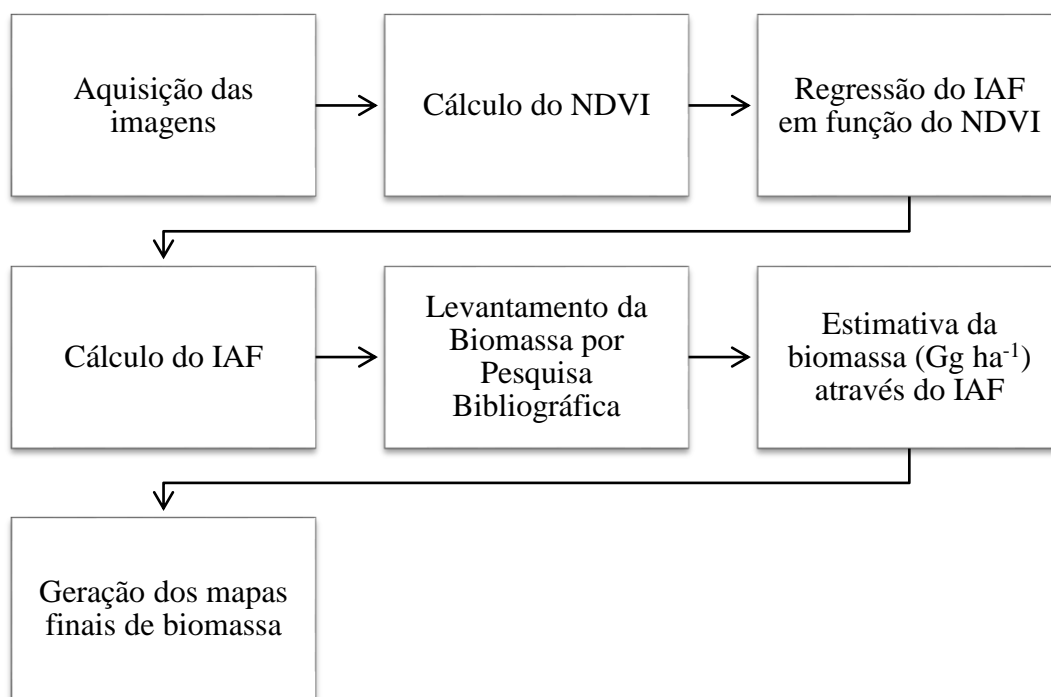
Os valores de biomassa para as tipologias da Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional Decidual, foram obtidas por meio de uma revisão bibliográfica, de todos os trabalhos que desenvolveram medições diretas da biomassa. considerando vários estudos realizados por Watzlawick et al. (2012; 2007), Trautermüller (2015), Brun et al. (2005), Brun; Schumacher; Corrêa (2011), Vogel; Schumacher; Truby (2013; 2006), Socher; Roderjan; Galvão (2008) e por Ribeiro et al. (2010). Posteriormente baseado nestes dados da literatura, foi estimada a biomassa para a área total de cada estágio de sucessão florestal.

Após obter os valores de biomassa por área em cada estágio sucessional, foi possível estimar o carbono presente na área de estudo. Para isto, utilizaram-se valores da bibliografia, aonde segundo Wang et al. (2001) o qual vem servindo de base em inúmeros estudos, o fator linear de concentração de carbono de 45%. Ainda, foi possível gerar mapas da distribuição da biomassa e do carbono ao longo de 30 anos, avaliando sua evolução no tempo de estudo.

3.3 METODOLOGIA PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA E CARBONO USANDO ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR.

Os resumos das atividades que foram desenvolvidas na segunda metodologia para gerar a Estimativa da Biomassa e Carbono usando Índices de Vegetação e Índice de Área Foliar, para a área de estudo, estão apresentadas na figura 7 a seguir em forma de fluxograma.

Figura 7: Fluxograma do resumo da metodologia a ser desenvolvida.



Fonte: O autor.

Para o estudo foram usados dados multiespectrais dos satélites Landsat 5 e 7 coletados em diferentes datas, formando uma série temporal de dados, totalizando 30 imagens de 1985 até 2014. A maioria das imagens foi obtida nos meses de outubro e novembro, os dados do ano de 1990 foi adquirido no mês de agosto e os dados das datas de 1993, 1996 1999 adquiridos no mês de setembro. Algumas imagens ainda foram obtidas nos meses de fevereiro a abril. Para a aquisição das imagens utilizou-se o visualizador USGS - Global Visualization Viewer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). As

imagens foram adquiridas com as correções atmosféricas e ortorretificações já efetivadas. Procurou-se selecionar cenas adquiridas em datas próximas para evitar os efeitos da variação sazonal da floresta. O processamento das imagens foi realizado no programa ENVI (5.0) (*EXCELIS VIS*, 2014).

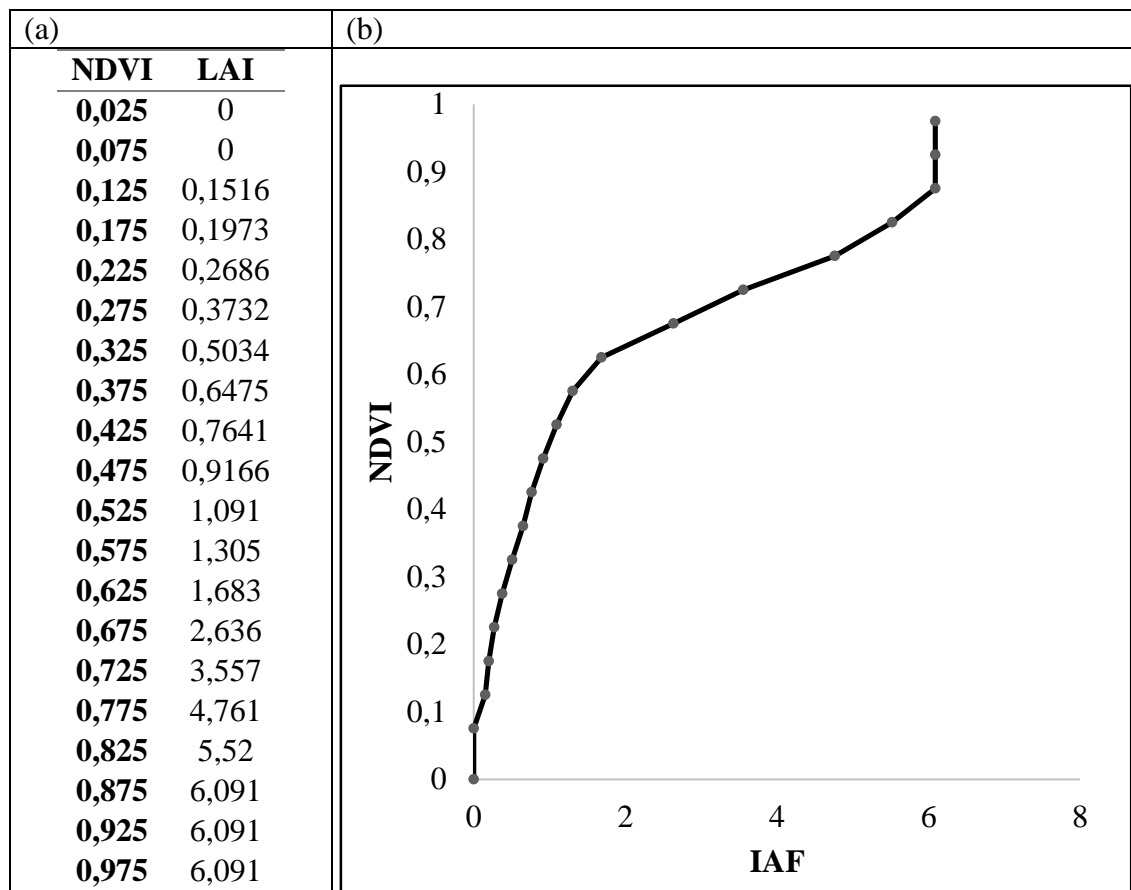
A partir das imagens de reflectância de superfície foi calculado o NDVI para cada ano do intervalo de 1985 até 2014, pois segundo Galvão et al. (2016), em geral, o NDVI é um índice estreitamente relacionado com a clorofila e carotenoides.

Após o cálculo do NDVI para todos os anos, foram criadas e aplicadas mascaradas deixando apenas os polígonos florestais delimitados por Rosa (2016). Destas áreas florestais foram extraídos os valores de NDVI por pixel, bem como as medidas por fragmento, onde foi determinado o índice de área foliar (IAF) para cada pixel em cada ano. Para a estimativa do IAF foi utilizado o modelo empírico proposto por KNYAZIKHIN et al. (1999), que relaciona os valores de NDVI a valores de IAF, considerando a relação não linear entre as variáveis (TABELA 1). Os valores de NDVI encontrados na área de estudo para os estágios, foi ajustado por meio de um modelo global conhecido.

A partir dos dados globais gerados por Knyazikhin et al. (1999), foi possível calcular uma função logística para estimar o índice de área foliar (IAF) a partir do NDVI. Desta forma chegou-se a valores de IAF para os três estágios de regeneração. Posteriormente foi possível realizar uma classificação e gerar as áreas de cada estágio de regeneração para as 30 imagens estudadas (1985-2014), foi possível calcular a biomassa total para todos os anos em cada uma das sucessões florestais.

Os valores de biomassa para os estágios sucessionais utilizados, foram obtidos por meio de uma pesquisada bibliografia minuciosa, segundo os autores Watzlawick et al. (2012; 2007), Trauntermüller (2015), Brun et al. (2015), Brun; Schumacher; Corrêa (2011), Vogel; Schumacher; Truby (2013; 2006), Socher; Roderjan; Galvão (2008) e por Ribeiro et al. (2010). Para estimar o estoque de carbono da área de estudo, foi utilizado um fator linear de concentração de carbono de 0,45 obtido segundo Wang et al. (2001) o qual vem servindo de base em inúmeros estudos.

Tabela 1: Modelo empírico para a estimativa do IAF a partir do NDVI, ajustado para florestas de folhas largas (*broadleaf forest*). (a) Tabela de relação entre NDVI e IAF; (b) modelo de ajuste gerado para a estima do IAF na área de estudo.



Fonte: Adaptado pelo autor de KNYAZIKHIN et al (1999).

3.4 COMPARAÇÃO ENTRE AS METODOLOGIAS DESENVOLVIDAS

Após desenvolver duas metodologias para estimar a biomassa e o carbono para a área de estudo, foi realizada uma comparação entre as mesmas. Ainda, ambas as metodologias foram comparadas com valores estimados por metodologias do Serviço Florestal Brasileiro.

A metodologia fornecida pelo SFB, está em aprimoramento, onde os valores de biomassa e carbono florestal fornecidos, são obtidos por meio de médias através de levantamentos bibliográficos.

Foi ainda, descrito qual das metodologias foi a mais realista, e ainda a importância e o impacto destas metodologias para a área de estudo, bem como para o Brasil.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANÁLISE DA DINÂMICA DA ESPACIALIZAÇÃO DOS ESTOQUES DE BIOMASSA E CARBONO NO NOROESTE DO RS

Para superar limitações de escala em estudos florestais associadas a métodos de estimativa de biomassa e carbono, o sensoriamento remoto vem sendo amplamente utilizado (WATZLAWICK.; KOEHLER.; KIRCHNER, 2006). Neste contexto, o estudo estimou e estudou a dinâmica do estoque da biomassa e do carbono florestal em diferentes estágios sucessionais de regeneração florestal na Região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, através de dados de sensoriamento remoto. Para isso se usou dados de Rosa (2016), dos fragmentos florestais pertencentes à área de estudo, os quais foram analisados conforme evolução e dinâmica no tempo.

4.1.1 Número de fragmentos por estágio sucessional

A primeira abordagem para discriminar os fragmentos de acordo com os seus respectivos estágios sucessionais usou a experiência de campo e dados do tamanho dos fragmentos para posteriormente gerar estimativas de biomassa e carbono. A partir do tamanho dos polígonos gerados por Rosa (2016), foi possível chegar ao número de polígonos para cada estágio de regeneração, numa série temporal de 30 anos (TABELA 2). Lembramos que os fragmentos, em especial os em estágio inicial não necessariamente pertenciam a este estágio, pois inicialmente os fragmentos foram classificados apenas por sua área. Os fragmentos foram reclassificados, conforme o comportamento temporal, fisionomia e biodiversidade de cada fragmento, e partir daí foi possível traçar uma evolução da vegetação.

Tabela 2: Número de fragmentos para cada estágio sucessional nos anos de 1985, 1994, 2005 e 2014.

<i>Sucessão</i>	<i>1985</i>	<i>1994</i>	<i>2005</i>	<i>2014</i>
<i>Inicial</i>	-	11.568	13.521	3.864
<i>Média</i>	7.012	8.478	9.286	7.444
<i>Avançada</i>	3.020	2.915	3.793	4.367
<i>Total</i>	10.032	22.961	26.600	15.675

Fonte: O autor.

No ano de 1985 os fragmentos em estágio inicial não foram calculados, pois não foi possível classificar os fragmentos corretamente devido ao fato de não se possuir um histórico do local de estudo, não sendo possível atribuir valores de biomassa somente baseados na área dos fragmentos. Então, a categoria que apresentou a maior presença de fragmentos para este ano, foi o estágio médio de regeneração. Com o passar de quase uma década, foi possível observar que houve um decréscimo nas sucessões média e avançada e o surgimento da classe inicial, o que pode ser devido ao abandono de áreas ocasionadas pelo êxodo rural, hipótese que também foi levantada por Rosa (2016). Em 2005, as três categorias sucessionais obtiveram grandes acréscimos em área, onde novamente ocorreu possivelmente o abandono de áreas, o que pode vir a ser consequência não mais expressada pelo êxodo rural, mas pela evolução tecnológica e uso de maquinário agrícola (MIGUEL, 2013), que acarretaram no surgimento de novos fragmentos iniciais. A sucessão média naquele ano teve uma pequena redução, e a sucessão em estágio avançado um aumento, devido à junção de fragmentos menores. No ano de 2014 ocorreu um decréscimo de quase 2/3 dos fragmentos iniciais, e também um decréscimo da categoria média, devido à junção dos fragmentos, acarretando no aumento da sucessão avançada. Essa recuperação de áreas levou a uma consolidação de alguns fragmentos médios a avançados e até mesmo à sua expansão, agrupando outros fragmentos menores. No ano de 2014 o estágio inicial é expressivamente menor do que nos outros anos de estudo, bem como o estágio médio, o que é um indicativo de junção de polígonos (fragmentos) menores, acarretando no aumento da regeneração avançada no decorrer de 30 anos. Este pode ser um indicativo da consolidação destes fragmentos.

Após o cálculo da quantidade de polígonos para cada estágio de regeneração, foi possível estimar a área em hectares para cada uma das regenerações no decorrer dos 30 anos estudados (Tabela 3). Nas décadas de 1985 até 1994, é possível se observar uma diminuição de áreas, com grande importância na classe de florestas primárias e secundárias em estágio avançado, as quais podem ter sido provocadas devido aos grandes incentivos para abertura de novas áreas, e conversão do uso do solo para agricultura e ocupação destas terras pelas famílias de agricultores. Ainda, é possível observar que estas áreas florestais, passaram a aumentar somente a partir do ano de 2005, com um grande salto para 2014, vindo a coincidir com a criação da Lei 12.651 de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa.

Tabela 3: Área de fragmentos florestais nativos nos estágios inicial, médio e avançado e sua dinâmica nos últimos 30 anos, na Região Noroeste do RS.

<i>Fragmentos</i>	<i>Área (ha)</i>			
	<i>1985</i>	<i>1994</i>	<i>2005</i>	<i>2014</i>
<i>Inicial</i>	-	27.908	28.272	9.776
<i>Média</i>	29.657	21.412	21.347	14.385
<i>Avançada</i>	134.109	112.879	140.147	203.901

Fonte: O autor.

4.1.3 Biomassa Florestal em cada estágio Sucessional

O valor médio estimado de biomassa florestal encontrado para a sucessão florestal secundária em estágio de regeneração inicial foi de 0,067 Gg ha⁻¹, regeneração média de 0,177 Gg ha⁻¹ e para a avançada de 0,38 Gg ha⁻¹. Esses valores foram selecionados por serem determinações da biomassa e representarem valores próximos para as duas tipologias florestais presentes na área de estudo FOM e FED (TABELA 4).

Tabela 4: Determinação da biomassa florestal para os estágios sucessionais, conforme pesquisa bibliográfica minuciosa.

<i>Autor/ano</i>	<i>Tipologia</i>	<i>Sucessão Florestal</i>		
		<i>Inicial (Mg ha⁻¹)</i>	<i>Média (Mg ha⁻¹)</i>	<i>Avançado (Mg ha⁻¹)</i>
Watzlawick et al., 2007.	FOM	69,37	168,84	397,79
Trautenmüller, 2015.	FED			371,10
Brun et al., 2005.	FED	102,30	157,60	
Brun; Schumacher; Corrêa, 2011.				
Vogel; Schumacher; Trüby, 2006.;	FED		210,00	
Vogel; Schumacher; Trüby, 2013.				
Socher; Roderjan; Galvão, 2008.	FOM A.		195,50	
Watzlawick, et al.. 2012.	FOM	59,00	154,27	373,19
Ribeiro, et al.. 2010.	FES	38,99		
MÉDIA		67,41	177,24	380,69

Legenda: FED (Floresta Estacional Decidual); FOM (Floresta Ombrófila Mista); FOM A. (Floresta Ombrófila Mista Aluvial); FES (Floresta Estacional Semidecidual).

Fonte: O autor

Segundo Watzlawick et al. (2007) a determinação da biomassa de uma floresta ombrófila mista secundária nos três estágios de regeneração, os valores foram de 69,37 Mg ha⁻¹ para regeneração inicial, 168,84 Mg ha⁻¹ para regeneração média e para avançada de 397,79 Mg ha⁻¹. Já Trautenmüller (2015), estudando a floresta estacional decidual, encontrou valores de 371,1 Mg ha⁻¹ para uma floresta avançada. Outros autores obtiveram valores semelhantes, a partir dos quais se estimou a biomassa florestal para este estudo.

Baseado nestes valores se estimou a biomassa florestal para a área de estudo, a qual teve um aumento de 30% de 1985 para 2014 passando de 56.310 Gg para 80.831 Gg (TABELA 5).

Tabela 5: Biomassa Florestal para as regenerações inicial, média e avançada, em cada data estudada.

<i>Fragmentos</i>	<i>Biomassa (Gg)</i>			
	<i>1985</i>	<i>1994</i>	<i>2005</i>	<i>2014</i>
<i>Inicial</i>	0	1.881	1.905	659
<i>Média</i>	5.256	3.795	3.783	2.549
<i>Avançado</i>	51.054	42.971	53.352	77.623
<i>TOTAL</i>	<i>56.310</i>	<i>48.647</i>	<i>59.040</i>	<i>80.831</i>

Fonte: O autor.

No ano de 1985 a biomassa no estágio avançado de regeneração era de 51.05 Gg ha⁻¹ e em 2014 houve um aumento de 26.6 Gg ha⁻¹ onde essas áreas detinham um estoque de 80.8 Gg de biomassa florestal. Ainda em 2014, os fragmentos iniciais diminuíram significativamente para menos da metade dos fragmentos presentes no ano de 2005, devido a consolidação de fragmentos maiores, e conservação destes, sem o surgimento de novos fragmentos iniciais. Os fragmentos médios apresentaram um comportamento similar aos iniciais, significando que estes fragmentos foram unificados a fragmentos maiores ou foram desmatados por meio de licenças para transformação do uso do solo.

Essa evolução da dinâmica da biomassa no decorrer dos 30 anos conforme as sucessões florestas, também pode ser observada nas Figuras 9 e 10, onde é possível se ressaltar com clareza o aumento dos fragmentos florestais, em especial dos avançados, entre 1985 e 2014, acarretando num expressivo aumento da biomassa.

Segundo dados do SFB (2015) a estimativa de biomassa para o bioma mata atlântica, é em média de 0,115 Gg ha⁻¹, valor bem abaixo dos encontrados nas referências bibliográficas usadas no estudo, mesmo que este valor seja uma média entre as sucessões

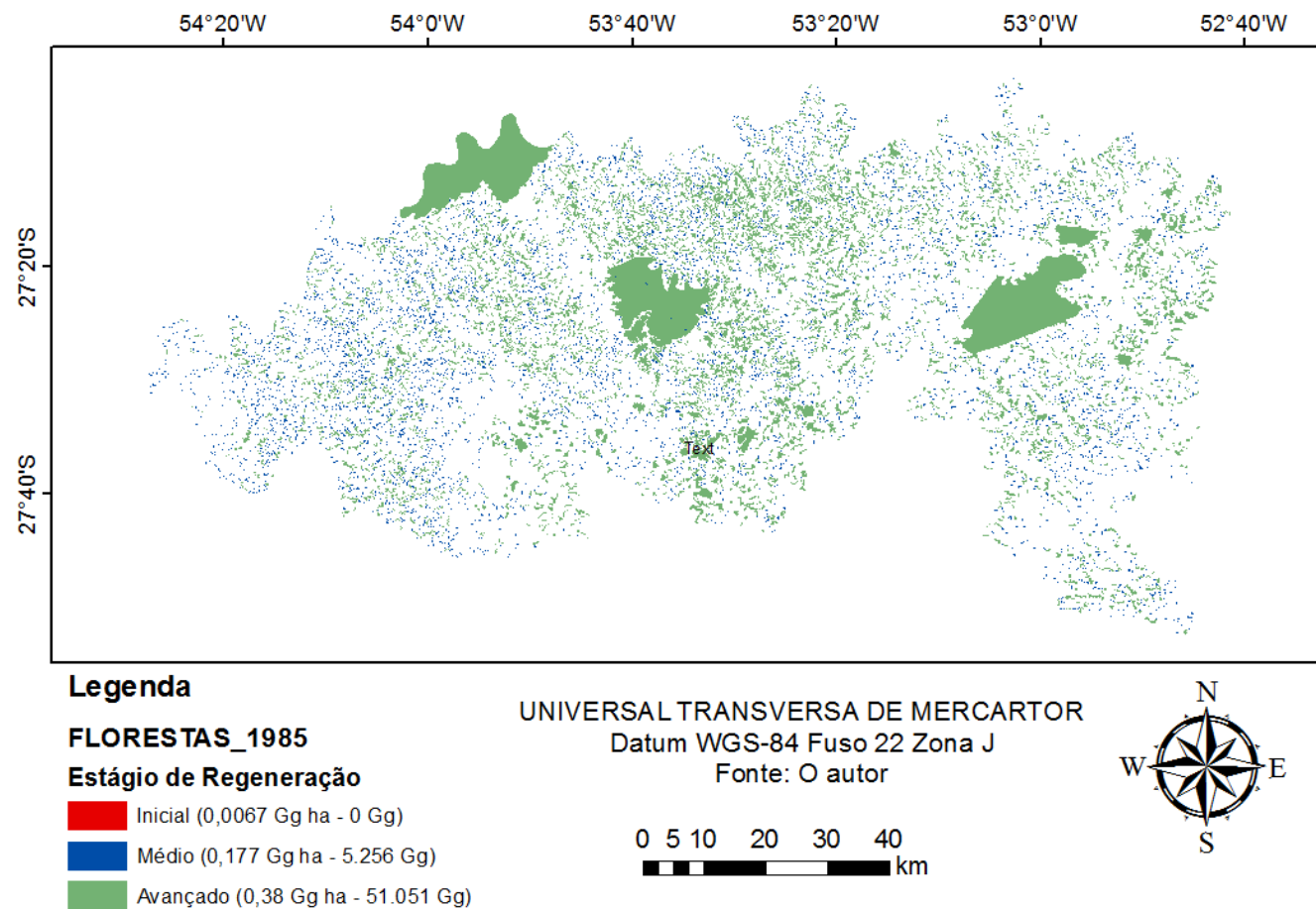
florestais. Aplicando-se esse valor na área florestal deste estudo que no ano de 2014, a qual é de 203.901 ha, a biomassa corresponderia a 23.449 Gg, segundo a estimativa do SFB, cerca de 29% da biomassa encontrada no estudo. Se a mesma média entre as três sucessões é realizada com dados obtidos nas referências bibliográficas, o valor encontrado chega a 0,208 Gg ha⁻¹, totalizando assim 42.411 Gg para área de estudo, quase o dobro do que seria estimado pelo SFB para área estudada.

Assim, é possível observar que as estimativas do SFB estão subestimando o potencial das florestas presentes na área de estudo, incorrendo numa redução do possível estoque de biomassa de 57.382 Gg. Assim, as estimativas do SFB reportam aproximadamente a metade da biomassa existente nos fragmentos florestais localizados na área de estudo.

O número de fragmentos em 2014 para o estágio inicial era de 28.953 (40%), em estágio médio era de 32.220 (41%) e no avançado de 14.095 (19%). Porém, em termos de estoque de biomassa o estágio inicial correspondeu a apenas 0,9% do total, o estágio médio 3,1%, e o estágio avançado 96% da biomassa total. Isto deve principalmente devido a contribuição das árvores de maior porte, as quais possuem os maiores valores de biomassa. Segundo Trautenmüller (2015), mais de 80% da biomassa está nas classes de maior diâmetro.

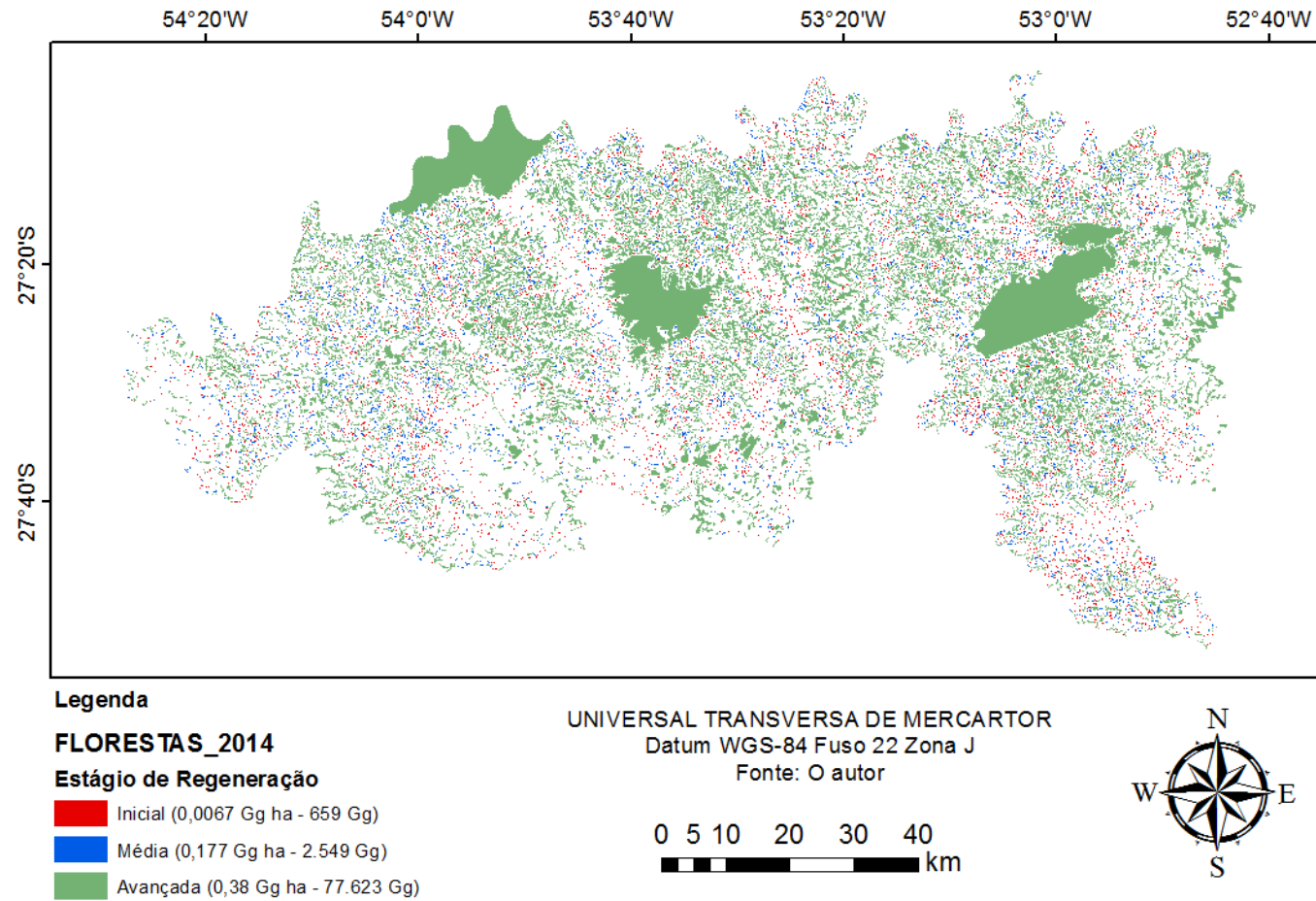
Este resultado demonstra a importância dos fragmentos de florestas primárias e secundárias em estágio avançado com tamanho acima de 10 ha, para o estoque de biomassa e carbono. Além disso, isto trás um indicativo para que trabalhos futuros dediquem mais recursos e tempo para esta categoria de fragmento, ou seja, otimizar o uso de imagens de satélite de acordo com a melhor relação entre resolução espacial e tamanho dos fragmentos (no caso 10 ha). Rosa (2016) declarou que em seu trabalho de mapeamento manual dos fragmentos, na mesma área de estudo, dispendeu mais de 60% de seu tempo demarcando os fragmentos com menos de 10 ha.

Figura 8: Mapa de cobertura florestal e respectivo estoque de biomassa por estágio sucessional no ano de 1985.



Fonte: O autor.

Figura 9: Mapa de cobertura florestal e respectivo estoque de biomassa por estágio sucessional no ano de 2014.



Fonte: O autor.

Analisando a distribuição dos fragmentos nos mapas gerados de 1985 e 2014, é possível ver a evolução dos fragmentos florestais, onde os fragmentos em estágio avançado tiveram um aumento devido a junção de fragmentos menores, e a mudança de estágio médio para o estágio avançado. Em 1985 o estágio médio de regeneração apresentava uma maior presença na área de estudo em relação a 2014, demonstrando a grande consolidação de áreas com a junção desses fragmentos menores. Ainda é possível observar que não se tinham fragmentos do estágio inicial em 1985, devido ao fato de não saber um histórico da área antes desta data, o que demonstra a partir de 1994 que houve o abandono de áreas e a mudança do solo novamente para a classe florestas, acarretando no surgimento de vários fragmentos do estágio inicial de regeneração.

Comparando a área de estudo com estudos realizados segundo Nogueira et al. (2008), o estoque total de carbono (abaixo e acima do solo) estimado para a Amazônia Brasileira como um todo (excluindo áreas não-florestadas) foi de 59,7 Gt (1 Gt = 1 bilhão de toneladas). A biomassa para este estudo foi de 0,080 Gt, tendo em vista o tamanho da Amazônia legal em comparação a área de estudo, fica exposto a importância das florestas na região e de seu valor na mitigação do carbono.

Segundo informações do DETER (2016), a área de alteração na cobertura florestal foi de 43,83 km². Em 2010 esse valor caiu para 23,01 km², vindo a aumentar em 2014 para 75,41 km², e em 2016 esse valor foi de 62,96 km². Ainda segundo informações do DETER (2016), desde 2004 até 2016, as alterações da cobertura florestal chegam a 1.626,84 km² o que equivalem a 162.684 há, valor este que comparado a área de estudo seria 79,78% da área estudada com cobertura modificada.

Na área de estudo, ainda estão presentes três áreas com grande potencial de estocar biomassa, sendo elas o Parque estadual do Turvo, a Reserva Indígena de Nonoai e a Reserva Indígena do Guarita (Tabela 6).

Tabela 6: Biomassa Florestal correspondente às áreas protegidas.

<i>Reserva</i>	<i>Área (ha)</i>	<i>Biomassa (Gg)</i>
<i>Parque Estadual do Turvo</i>	17.211	6.552
<i>Reserva Indígena de Nonoai</i>	14.164	5.392
<i>Reserva Indígena do Guarita</i>	19.381	7.378
<i>Total</i>	<i>50.757</i>	<i>19.322</i>

Fonte: O autor.

Da biomassa secundária em estágio avançado de regeneração total encontrada no estudo, 25% corresponde a essas áreas protegidas, totalizando 23% da biomassa (19.322 Gg) para os três estágios de regeneração. Essas áreas possuem alto acúmulo de biomassa, devido ao fato de terem sido protegidas e não colonizadas, assim não sendo alterado o uso e ocupação do solo, mantendo o potencial dessas florestas no estoque de CO₂.

Um ponto a ser destacado refere-se à presença das Terras Indígenas (TIs) e sua contribuição para a mitigação climática no país. Segundo estudos apresentados por Bezerra (2016), entre 2000 e 2012, a taxa de desmatamento dentro de áreas florestais indígenas é 2,5 vezes menor do que em áreas particulares. Assim, a demarcação das TIs é uma estratégia eficaz para a redução do desmatamento na Amazônia e em outras regiões (IPAM, 2015), tornando-se uma medida de baixos custos com altos benefícios socioeconômicos para auxiliar no cumprimento da agenda ambiental adotada pelo Brasil (BEZERRA, 2016).

Entre os setores mais citados em relação aos desafios e lacunas nos programas e políticas sobre as mudanças climáticas atuais, estão a energia e as florestas. O setor Florestal/Mudança do uso e cobertura da terra sofre várias oscilações nas emissões nos últimos anos (BEZERRA, 2016). Segundo Rosa (2015), após as grandes mudanças do uso da terra, na atualidade se tem um aumento gradual de área de cobertura florestal, na área desse estudo, apresentando um crescimento de 50,4% entre 1985 e 2014, o que também acarretou um aumento de biomassa e carbono alocados na região noroeste do RS. .

Outro quesito importante neste estudo foi a quantificação de carbono presente na biomassa florestal, onde o CO₂ constitui 45% da biomassa estimada, e este apresentado na tabela 7 a seguir:

Tabela 7: Estimativa do estoque de Carbono na Região Noroeste do RS.

<i>Fragmentos</i>	<i>Carbono (Gg)</i>			
	<i>1985</i>	<i>1994</i>	<i>2005</i>	<i>2014</i>
<i>Inicial</i>	-	846	857	296
<i>Média</i>	2.365	1.707	1.703	1.147
<i>Avançado</i>	22.974	19.337	24.008	34.930
<i>TOTAL</i>	25.339	21.891	26.568	36.373

Fonte: O autor.

Em 1985 o total de carbono presente na área de estudo era de 25.339 Gg, passando para 36.373 Gg em 2014, aumentando mais de 30% em menos de 30 anos. A maior quantidade de CO₂ estocada encontra-se no estágio avançado de regeneração e nas florestas primárias. O carbono assim como a biomassa, obtiveram aumentos no decorrer dos 30 anos estudados, tendo uma pequena queda em 1994, que se deve provavelmente ao desmatamento para uso alternativo das áreas.

Segundo Terakunpisut.; Gajaseni.; Ruankawe (2007), o potencial das florestas em sequestrar o carbono depende, do tipo de floresta, da idade da floresta e da classe de tamanho de tronco. Esse fato demonstra a variação do teor de carbono estocado para os diferentes estágios sucessionais estudados.

Segundo dados da *Global Carbon* (2015), o País que mais emite CO₂ é a China, totalizando 10.357 Mt CO₂ no ano de 2015, onde o Brasil se encontrava em 12º lugar, emitindo 515 Mt CO₂. A região de estudo, não chega a abranger 1% da área total do Brasil, e estoca 36 Mt de CO₂, caso a área fosse desmatada acarretaria em um acréscimo de 7% na emissão de CO₂ total para o Brasil. Visto que em 2014, o total de emissões era 527 Mt, diminuindo 3% para 2015, é possível observar a importância da área de estudo no estoque de CO₂.

Segundo Trautenmüller (2015) os três maiores individuais presentes nas unidades amostrais, representam mais de 60% da biomassa e carbono total da parcela. Sendo que cerca de 89% da biomassa é encontrada nos estratos de diâmetro acima de 10 cm de Diâmetro a altura do peito (DAP), do restante, 4% corresponde a plantas com mais de 1,3 m de altura e DAP menor que 5 cm, 1,9% árvores com DAP entre 5 e 10 cm 0,7 plantas menores que 1,3 m e 4,2 a Serapilheira.

Segundo McRoberts et al. (2016) o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), define dois critérios de boas práticas: (I) “nem excesso nem subestimação na medida”, e (II) “as incertezas são reduzidas na medida do possível”. Assim este estudo demonstra sua importância, local, regional e global, visto que a biomassa e o carbono foram calculados conforme estágio sucessional, não subestimando e nem superestimando a área, bem como desenvolvendo uma metodologia precisa a baixo custo operacional.

Devido à grande diversidade e heterogeneidade das florestas nativas, é difícil se estimar a biomassa e o carbono através de métodos que utilizam dados de sensoriamento remoto.

Devido ao fato de o método utilizado ter utilizado de imagens de média resolução espacial, e a não verificação de todos os fragmentos florestais a campo, o método pode

apresentar algumas limitações, como a confusão de fragmentos pequenos como iniciais, sendo estes estágios médios ou avançados de regeneração.

Este estudo demonstrou a importância das florestas do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, tanto em estoque quanto na mitigação do CO₂, reduzindo os gases do efeito estufa do Brasil e contribuindo no quadro das mudanças climáticas mundiais.

4.2 ESTIMATIVA DA BIOMASSA E CARBONO USANDO ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR.

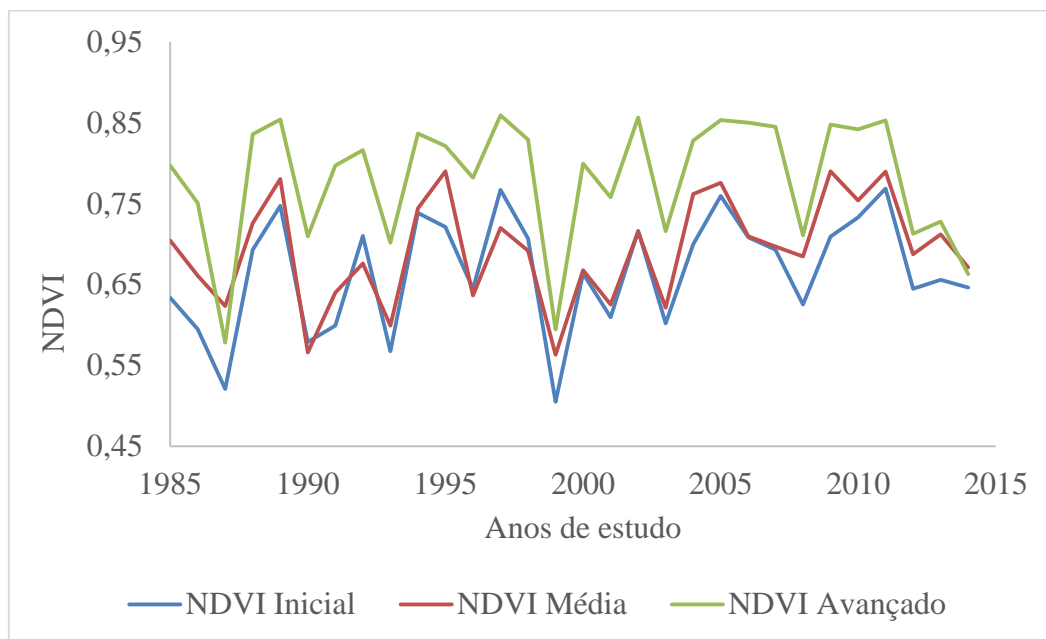
Estimativas baseadas em dados de sensoriamento remoto e no tamanho dos fragmentos podem ser validadas através do uso de índices de vegetação, visto que estes retratam o vigor vegetativo e a cobertura foliar na área em estudo.

Assim, neste estudo será estimada a biomassa e o carbono florestal para cada estágio sucessional em todo o Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, por meio do índice de vegetação NDVI e do IAF, ajustando um modelo global com bases locais, com a utilização de dados de sensores remotos.

No caso do NDVI, quanto mais próximo de 1, maior a cobertura florestal (IAF) e quanto mais próximo de zero menor a cobertura verde da área em estudo. Assim, apesar de simplista, a estratégia de definir classes de NDVI para os diferentes estágios sucessionais é baseada na reposta física da floresta, dado a proporcionalidade não linear que existe entre a quantidade de folhas e o NDVI.

O valor do NDVI neste estudo variou de 0,50 a 0,85 nos três estágios sucessionais, onde o estágio inicial encontrou-se presente na faixa de 0,5 a 0,6, devido ao fato de que a vegetação é basicamente um capoeirão sem presença de árvores, e assim apresenta uma reflectância menor, no estágio médio ficou na faixa de 0,6 a 0,7 aumentando o NDVI em função da presença de plantas de porte arbóreo e maior reflectância por parte delas, que pode ser observado no estágio avançado, onde o NDVI é maior que 0,7 para todas as data avaliadas (Figura 11). O ajuste dos intervalos de IAF em função do NDVI para se estimar e os estágios foi realizado com base em locais conhecidos em campo.

Figura 10: Dinâmica do NDVI para os Estágios Sucessionais iniciais, médio e avançado.



Fonte: O autor

As variações sazonais a áreas florestais (inverno- verão) são nitidamente representadas em todos os estágios sucessionais, visto que algumas pequenas variações de data de aquisição das imagens. Assim, a medida que a floresta perde folhas, o NDVI apresentou valores menores e conforme ocorre o brotamento, o valor tende a aumentar. Isso pode explicar a discrepância entre os menores e os maiores valores, visto que imagens como de 1999 foram obtidas no início de setembro, período no qual a maioria das árvores, que fazem a cobertura superior possuem folhas novas e tem tonalidades claras de verde, ou seja, uma menor concentração de clorofila explicando os valores baixos de NDVI encontrados. Ainda devido ao período da aquisição da imagem, a posição do sol pode vir a ocasionar um grande sombreamento das árvores de maior porte, o que também explica os baixos valores de NDVI.

O NDVI segundo Madugundu et al. (2008), apresenta uma forte relação com o IAF e a partir do modelo global gerado por Knyazikhin et al. (1999), foi possível se ajustar os dados encontrados de NDVI em todos os anos estudados em uma regressão logística, e a partir dele estimar o IAF. A partir deste ajuste de equação e dos NDVIs calculados para cada imagem, foi possível calibrar o modelo do IAF em função dos níveis de NDVI. O modelo gerado se comportou muito bem para o ajuste dos valores de NDVI encontrados, onde se obteve 30 amostras de IAF com significância (p-valor) do modelo

menor que 0,0001 e R^2 de 0,99. Conforme os valores encontrados de NDVI aumentaram, foi possível se observar um aumento na estimativa do IAF. Os valores de IAF variam de 1,0 para o estágio inicial de regeneração até 2,2 já entrando em transição para o estágio médio, o qual obteve valores de 2,2 até 4,5 e valores com IAF maiores que 4,5 no estágio avançado de regeneração. Segundo estudos realizados por Caruzzo e Rocha (2000), a estimativa do índice de área foliar acumulada numa região de pastagem foi de 2,63, já para uma região de floresta, foi de 4,97, demonstrando assim, que o IAF aumenta do estágio inicial conhecido como capoeira, até o estágio avançado, uma floresta madura.

Neste estudo o valor máximo obtido foi de 5,75 de IAF que corresponde a 0,85 de NDVI para o estágio avançado de regeneração. O menor valor encontrado foi para o estágio inicial, com um IAF de 1,012. A partir dos dados estimados do IAF por meio do NDVI, se gerou uma classificação das florestas, para se obter a área de cada estágio sucessional para cada um dos anos estudados, os quais podem ser observados na tabela 8.

Tabela 8: Área em hectares dos estágios de regeneração após ajuste do modelo logístico do IAF em função do NDVI.

<i>Ano</i>	<i>Inicial</i>	<i>Médio</i>	<i>Avançado</i>
1985	13.641	69.385	58.890
1986	23.336	105.852	10.221
1987	18.621	54.089	326.53
1988	12.316	44.260	108.364
1989	7.610	30.698	117.486
1990	37.810	81.675	4.997
1991	13.609	57.504	63.732
1992	11.642	39.459	96.494
1993	49.335	81.080	1.557
1994	7.979	36.472	130.633
1995	11.435	37.535	117.256
1996	20.458	95.665	447.09
1997	1.901	21.532	150.830
1998	12.316	44.260	108.364
1999	89.686	19.199	38
2000	13.452	69.865	80.536
2001	26.569	112.316	243.17
2002	5.527	29.484	135.673
2003	21.061	49.951	647.87
2004	10.586	44.941	110.975
2005	8.586	35.890	152.730

(continua)

	(continuação)		
2006	9.142	36.519	145.429
2007	7.744	44.863	135.619
2008	7.289	27.491	122.766
2009	15.203	54.727	124.199
2010	10.670	41.239	142.161
2011	6.773	34.253	162.236
2012	6.596	25.125	128.465
2013	5.785	19.673	135.880
2014	8.935	46.756	137.295

Fonte: O autor.

Em 1999 é possível se observar que área encontrada no estágio avançado de regeneração, não está correta, visto que a maioria dela possui NDVI de estágio inicial, isto se deve ao fato de que a imagem foi obtida no início do mês de setembro, período no qual a maioria das plantas de porte arbóreo pertencentes a este estágio sucessional, perderam as folhas, devido a características pertencentes à floresta estacional decidual e, estas apresentam uma coloração de verde mais claro, além do sombreamento ocasionado por árvores de porte maior, e a inclinação solar. O mesmo pode ser observado em outras datas, como 1990 e 1993, onde ambas as imagens foram obtidas neste mesmo período de agosto a setembro. Assim, o estudo demonstra que imagens deste período não devem ser usadas para estimar dados biofísicos.

Segundo Breunig et al (2015), em estudos realizados no Parque Estadual do Turvo, analisando o IAF de janeiro a dezembro, o mesmo variou de 6,5 no verão a 3,4 no período do inverno. No mês de setembro, os valores foram os mais baixos, atingindo valores de 3,4, demonstrando grandes oscilações do período onde as plantas perdem as folhas e a clorofila diminui, o que leva a uma diminuição da absorção de radiação eletromagnética pelos pigmentos e incorre em um aumento da refletância na faixa espectral do visível. Este fato novamente reafirma o cuidado na data de obtenção das imagens. Ademais, destaca que devesse ter cuidado com a geometria de iluminação no inverno, que leva a modificações na reflectância e conseqüentemente, no valor do NDVI e parâmetros biofísicos calculados na sequência (BREUNIG et. al., 2015).

Os estudos de Rosa (2016) demonstraram uma tendência, de que na década de 1980 e anteriores, havia uma maior densidade de população rural e devido a este fato ocorreu um avanço de ocupação antrópica sobre as áreas de floresta nativa, ocasionando supressão e fragmentação florestal (em parte associado à política de expansão agrícola do

governo). À medida que aumentou o êxodo rural (por motivos diversos), a força de trabalho no campo diminuiu e áreas de difícil cultivo ou acesso foram abandonadas e/ou ocupadas por florestas cultivadas. Assim houve grande surgimento de novos fragmentos florestais, os quais estão em estágio inicial de desenvolvimento.

Ainda, muitos fragmentos isolados, de tamanho pequeno, em estágio inicial de regeneração acabaram se coligando, formando novos fragmentos maiores e acumulando uma maior biomassa florestal. O mesmo ocorreu para fragmentos em estágio médio e avançado de regeneração, onde a junção desses fragmentos originou formação de grandes fragmentos. Nesse ponto é importante lembrar que não houve distinção entre floresta nativa e comercial e assim, as medidas apresentadas englobam ambas os tipos florestais.

Outro destaque importante é a evolução dos fragmentos avançados ao longo dos 30 anos, os quais oscilaram bastante e somente a partir de 2007 se mantiveram constantes, coincidindo posteriormente, com a criação do novo Código Florestal, ou Lei 12.651 de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2016), onde a atividade de extração passou a ser fiscalizada com mais rigor, induzindo a população a uma maior conscientização em preservar e valorizar as florestas, tendendo a estabilizar a diminuição dos fragmentos florestais, assim acarretando num acréscimo da biomassa e carbono florestal.

Para o estágio inicial, a quantidade de biomassa foi de 0,067 Gg/ha, para o estágio de regeneração médio é de 0,177 Gg/ha e para o estágio avançado de regeneração é de 0,38 Gg/ha. Em 1985 a área total de fragmentos iniciais era de 13.641 hectares, totalizando 919 Gg de biomassa, a área de fragmentos médios era de 69.385 ha totalizando 12.297 Gg e no estágio avançado área de 58.890 ha perfazendo 22.419 Gg. A evolução dos fragmentos florestais nos 30 anos e nas três classes de regenerações podem ser observados na Tabela 9.

Tabela 9: Biomassa em Gg para a área de estudo em cada Estágio de Regeneração.

<i>Ano</i>	<i>Inicial</i>	<i>Médio</i>	<i>Avançado</i>	<i>TOTAL</i>
1985	919	12.297	22.419	35.635
1986	1.573	18.761	3.890	24.224
1987	1.255	9.586	12.430	23.271
1988	830	7.844	41.253	49.927
1989	512	5.441	44.725	50.678
1990	2.548	14.476	1.902	18.926
1991	917	10.192	24.262	35.371

(continua)

(continuação)				
1992	784	6.993	36.734	44.511
1993	3.325	14.370	592	18.287
1994	537	6.652	49.730	56.919
1995	770	6.652	44.638	52.060
1996	1.379	16.955	17.020	35.354
1997	128	3.816	57.419	61.363
1998	830	7.844	41.253	49.927
1999	865	10.113	35.956	46.934
2000	901	12.382	30.659	43.942
2001	1.791	19.906	9.257	30.954
2002	372	5.225	51.649	57.246
2003	1.419	8.853	24.663	34.935
2004	713	7.965	42.247	50.925
2005	578	6.361	58.142	65.081
2006	616	6.472	55.363	62.451
2007	522	7.951	51.629	60.102
2008	491	4.872	46.735	52.098
2009	1.024	9.699	47.281	58.004
2010	719	7.309	54.119	62.147
2011	456	6.071	61.761	68.288
2012	444	4.453	48.905	53.802
2013	389	3.486	51.728	55.603
2014	602	8.287	52.267	61.156

Fonte: O autor

A biomassa total encontrada no ano de 2014 foi de 602 Gg para o estágio de inicial, 8.287 Gg para o estágio médio e 52.267 Gg para o estágio avançado de regeneração. Totalizando assim, 61.156,50 Gg de biomassa florestal em sucessão secundária. Em 1985 a biomassa total era de 35.636 Gg, quase a metade da biomassa total em 2014, demonstrando um aumento de cerca de 41,7%. Conforme foi possível se observar um aumento da área em hectares dos estágios sucessionais, também é possível se observar um aumento em biomassa e carbono, relacionado ao aumento do IAF.

Devido ao fato de no ano 1999 os valores terem sido muito diferentes dos outros anos, este valor foi excluído e gerou-se então uma média entre os valores de 1998 e 2000.

Segundo Madugundu et al. (2008), quando ocorre um aumento do IAF, também há um aumento proporcional (não linear) dos valores de NDVI, demonstrando que os níveis de NDVI são bons indicadores dos valores do IAF, e que a medida que a área foliar (IAF) aumenta, há também um aumento da biomassa acumulada. O mesmo ocorreu com o estudo realizado, conforme o NDVI aumentou também se observou um aumento de área

foliar demonstrando a diferença dos estágios sucessionais, assim ocasionando num aumento de biomassa florestal conforme o estágio sucessional.

Analisando-se os dados obtidos foi possível gerar uma média dos últimos cinco anos estudados, o qual serviu para diluir o erro causado pelas imagens de satélite, resultado em um valor médio de 60.199,20 Gg de biomassa florestal, demonstrando claramente um aumento da biomassa na área de estudo (TABELA 10).

Tabela 10: Média da biomassa florestal para os últimos cinco anos estudos.

<i>Ano</i>	<i>Inicial</i>	<i>Médio</i>	<i>Avançado</i>	<i>Total</i>
2010	719	7.309	54.119	62.147
2011	456	6.071	61.761	68.288
2012	444	4.453	48.905	53.802
2013	389	3.486	51.728	55.603
2014	602	8.287	52.267	61.156

Fonte: O autor.

O estágio inicial de regeneração não teve grande presença nos anos de 1985 e 2014, onde a biomassa total era composta basicamente pelo estágio médio de regeneração, com poucos fragmentos em estágio avançado, os quais eram concentrados basicamente em três áreas protegidas encontradas na área de estudo, duas reservas indígenas e um parque estadual (FIGURA 13). No ano de 1999 devido ao fato já mencionado de que as folhas dos fragmentos da regeneração avançada haviam caído, pois o período da coleta da imagem foi em setembro, ocasionou uma confusão da reflectância e sombreamento, e os fragmentos foram caracterizados como estágio inicial. No ano de 2014 é possível observar grande evolução da dinâmica dos fragmentos florestais, principalmente para o estágio avançado de regeneração (FIGURA 14).

A área de estudo possui três remanescentes preservados de floresta nativa da mata atlântica, muito significativos em termos de biomassa, sendo eles o Parque Estadual do Turvo, a Reserva Indígena do Guarita e a Reserva Indígena de Nonoai, as quais possuem um alto estoque de carbono e um grande potencial de expansão da biomassa avançada segundo dados encontrados no estudo temporal realizado.

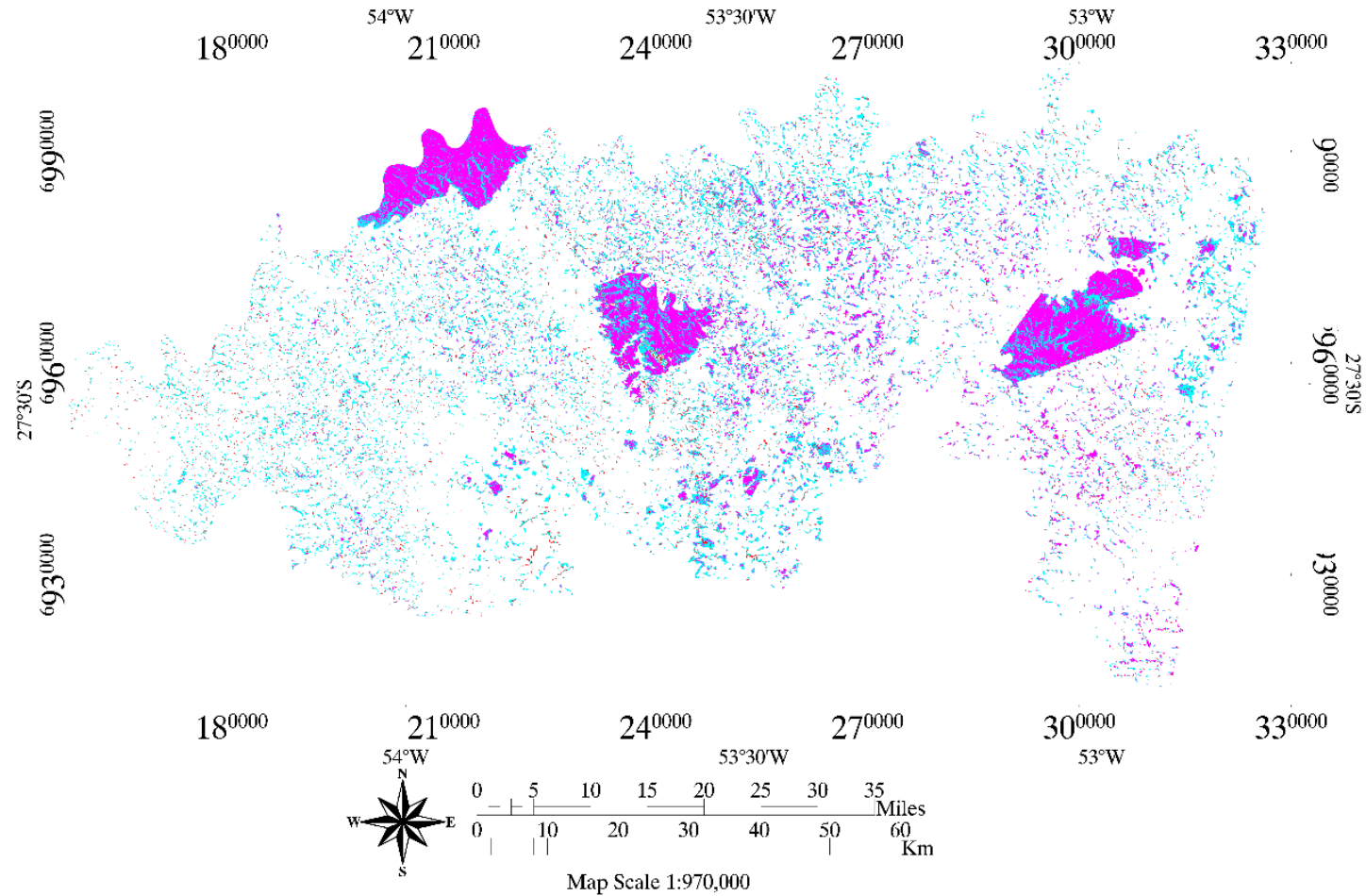
É possível ressaltar que houve grande evolução da biomassa na área de estudo, provando a consolidação de áreas. Fragmentos florestais muito pequenos acabaram se juntando com fragmentos maiores, ou simplesmente foram aumentando devido ao

abandono de áreas em sua volta. Com a evolução da tecnologia, essas áreas não eram mais mecanizáveis, e por isso tornaram-se uma capoeira de estágio inicial, e assim evoluindo para estágio médio e avançado de regeneração. Examinando a espacialidade dos fragmentos, percebe-se que a maioria deles estão situados em áreas próximas as áreas de preservação permanente de rios, lagos e nascentes, bem como em terrenos impróprios para cultivos agrícolas maquináveis.

Em estudos realizados por Goswami et al. (2015), todas as relações de NDVI com IAF e biomassa demonstraram fortes relações exponenciais com $R^2 \geq 0,7$ indicando, que o NDVI satura para estimar valores mais elevados de biomassa e IAF. Por outro lado, a forte relação linear entre IAF e biomassa sugere que não há saturação na medição de biomassa e de IAF. O R^2 foi maior que 0,7 para este estudo, indicando que em algum ponto haverá saturação do NDVI, mas não haverá a saturação do IAF e da biomassa. A forte relação observada entre o NDVI e IAF com a biomassa encontrada neste estudo é semelhante aos estudos realizados em outros ecossistemas como tundra (arbusto) (BOELMAN et al., 2003) e tundra ártica alta (WALKER et al., 2003).

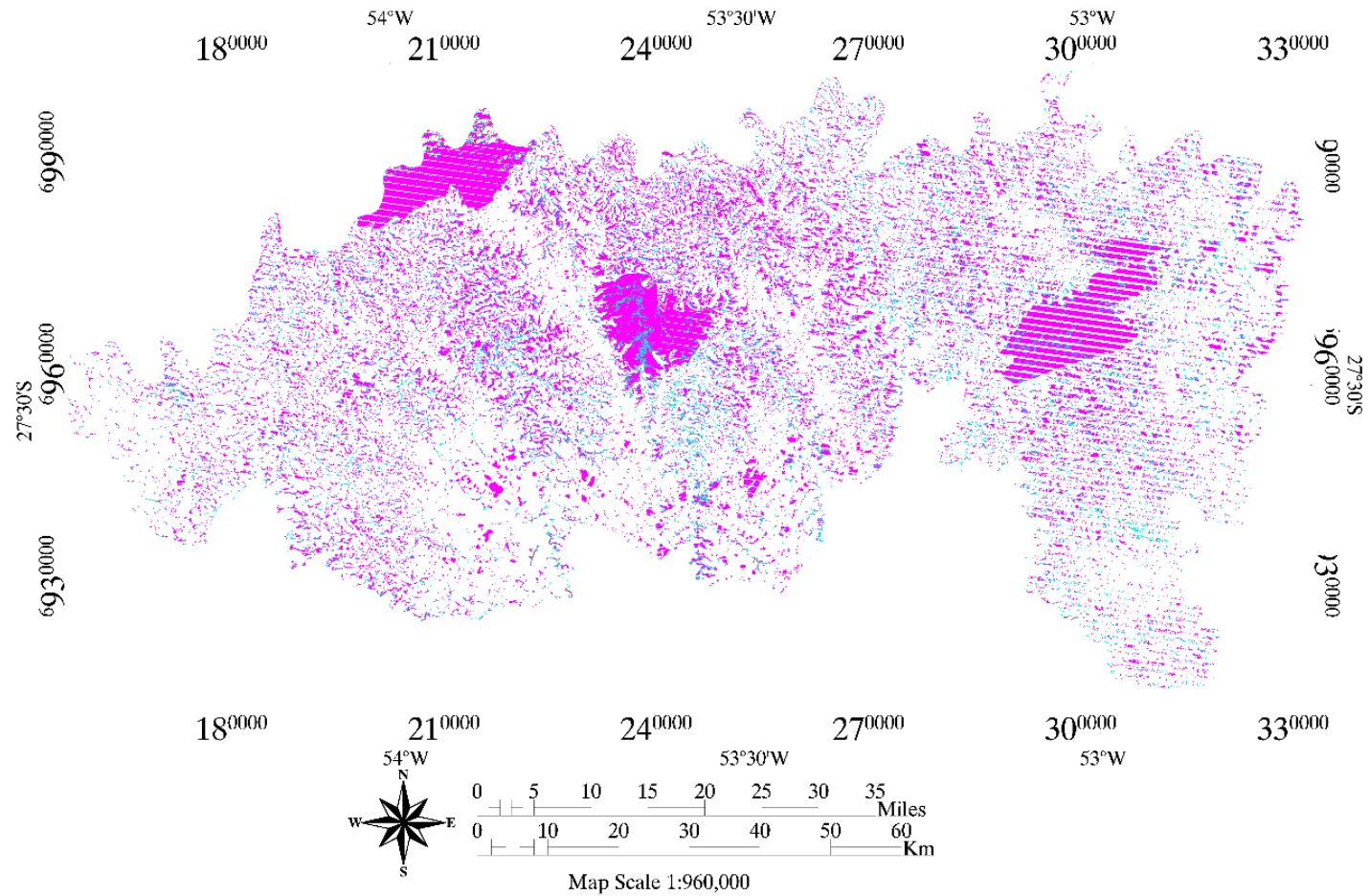
Segundo estudos realizados por Boelman et al. (2003), quanto mais verde a área da folha, maior é o IAF e a Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR), maiores os valores de NDVI, o que também pode ser observado neste estudo.

Figura 11: Mapa da distribuição do estoque de biomassa nos estágios sucessionais para o ano de 1985.



Legenda: Vinho: inicial; Ciano: médio; Magenta: avançado.
 Fonte: O autor.

Figura 12: Mapa da distribuição do estoque de biomassa nos estágios sucessionais para o ano de 2014.



Legenda: Vinho: inicial; Ciano: médio; Magenta: avançado.

Fonte: O autor.

Segundo estudos realizados por Piazza et al. (2016), realizando um mapeamento dos remanescentes florestais iniciais, ele comprovou que todas as unidades amostrais estudadas são representadas por vegetação não homogênea. As classes iniciais de regeneração apresentaram os maiores valores de número digital (ND) ao longo do espectro, isto se deve em função da estruturação mais regular dos dosséis. O contrário foi encontrado para as classes de vegetação avançada, onde há uma maior irregularidade dos dosséis, e assim há uma maior influência ocasionada por sombras. Este estudo de Piazza et al. (2016) demonstrou a similaridade em termos espectrais dos estágios sucessionais, novamente salientando a importância de cuidados como a data de aquisição das imagens, devido a dificuldade de classificação da heterogeneidade por meio de imagens aéreas.

Mais um quesito relevante para este estudo é a quantificação de carbono presente na biomassa florestal, onde o carbono constitui 45% da biomassa estimada, e está apresentado na Tabela 10.

Tabela 11: Carbono em Gg para a área de estudo em cada Estágio Sucessional.

<i>Ano</i>	<i>Inicial</i>	<i>Médio</i>	<i>Avançado</i>	<i>TOTAL</i>
1985	413	5.533	10.088	16.034
1986	707	8.442	1.750	10.899
1987	565	4.314	5.593	10.472
1988	373	3.530	18.776	22.679
1989	203	2.448	20.126	22.777
1990	1.146	6.514	856	8.516
1991	412	4.586	10.918	15.916
1992	353	3.147	16.530	20.030
1993	1.496	6.467	266	8.229
1994	242	2.993	22.379	25.614
1995	347	2.993	20.087	23.427
1996	621	7.630	7.659	15.909
1997	58	1.717	25.839	27.613
1998	374	3.530	18.564	22.467
1999	60	1.531	6	1.598
2000	405	5.572	13.797	19.774
2001	806	8.958	4.166	13.929
2002	167	2.351	23.242	25.761
2003	639	3.984	11.098	15.721
2004	321	3.584	19.011	22.916
2005	260	2.862	26.164	29.286

(continua)

(continuação)				
2006	277	2.912	24.913	28.103
2007	235	3.578	23.233	27.046
2008	221	2.192	21.031	23.444
2009	461	4.365	21.276	26.102
2010	324	3.289	24.354	27.966
2011	205	2.732	27.792	30.730
2012	200	2.004	22.007	24.211
2013	175	1.569	23.278	25.021
2014	271	3.729	23.520	27.520

Fonte: O autor.

Para o estágio inicial, a quantidade de carbono foi de 0,030 Gg/ha, para o estágio de regeneração médio é de 0,079 Gg/ha e para o estágio avançado de regeneração é de 0,171 Gg/ha. O total de carbono estimado para a área de estudo em 2014 foi de 27.520 Gg CO₂ sendo desses 271 Gg presentes no estágio inicial, 3.729 Gg no estágio médio e 23.520 Gg no estágio avançado. É possível observar que o carbono presente neste estudo teve um grande aumento de 1985 para 2014 especialmente no estágio avançado, o qual dobrou em menos de 30 anos.

A área de estudo antes do início da colonização era totalmente coberta por florestas nativas, pertence ao bioma mata atlântica com tipologias de florestas FOM e FED. A colonização abriu espaços para agricultura, pecuária e moradias, modificando o uso da terra, onde apenas alguns fragmentos florestais se mantiveram, acarretando em grandes emissões de CO₂ na atmosfera. Conforme ocorreu a evolução tecnológica, áreas não possíveis de serem mecanizadas passaram a ser abandonadas, regeneradas as suas formações iniciais. Assim, é possível observar que as áreas abandonadas ou então em evolução dos fragmentos apresentam grande capacidade de ainda estocar o CO₂ presente na atmosfera, o qual vem a auxiliar na diminuição deste gás e, somar positivamente no quadro das mudanças climáticas.

As três grandes áreas presentes no estudo (Reserva Indígena do Guarita, Reserva Indígena de Nonoai e Parque Estadual do Turvo), por sua vez, possuem um alto estoque de biomassa e carbono, os quais possuem muita importância e, devem ser tratados com maior atenção, podendo ser instalados programas de incentivo como o REDD, para aumentar ainda mais o potencial dessas áreas em mitigar e estocar o carbono.

É possível se observar uma tendência a partir de 2012, onde a biomassa e o carbono passaram a aumentar, vindo a coincidir com a criação da Lei 12.651. A qual

dispõe sobre a vegetação nativa, onde é proibida a supressão de novas áreas de vegetação nativa para outros fins. Com a crescente preocupação com o quadro das mudanças climáticas e as grandes emissões de CO₂ na atmosfera, o estoque de CO₂ por parte das plantas tende a somente aumentar, até a vegetação atingir o estágio de florestas primárias e estagnar o crescimento e a mitigação e passar a ser uma floresta com grande importância de estoque de carbono.

A metodologia proposta por este estudo demonstrou a possibilidade de utilizar dados de sensoriamento remoto para gerar uma resposta espectral para se estimar biomassa e carbono. No entanto, deve se salientar que a estimativa de biomassa baseada em sensoriamento remoto é um procedimento que se utiliza de inúmeros fatores, como qualidade das imagens e tamanho do pixel, saturação de dados, ambientes biofísicos, variáveis de sensoriamento remoto extraídas, e as variáveis algoritmos que podem afetar a estimativa (LUTHER et al., 2006).

Portando, de acordo com a segunda metodologia desenvolvida neste estudo, considerada a mais realista e conservada das duas, podemos concluir que em 30 anos de estudo (1985 a 2014), houve um incremento de 11.486 Gg de carbono que corresponde a 42.119 Gg de CO₂ removidos da atmosfera.

4.3 COMPARAÇÃO ENTRE AS DUAS METODOLOGIAS DESENVOLVIDAS

As duas metodologias propostas resultaram satisfatórias para estimar o estoque de biomassa na área de estudo, visto que ambas se utilizaram de dados de biomassa provenientes da bibliografia por meio do método de determinação e da classificação de polígonos da evolução dos fragmentos, realizados por Rosa (2016) pelo método manual.

As metodologias desenvolvidas neste trabalho estimaram o estoque de biomassa na área de estudo em 80.831 Gg e 61.156 Gg, respectivamente. A primeira metodologia proposta estimou um valor de 19.675 Gg maior que a segunda.

A segunda metodologia estimou valores menores, em todos os anos e em todos os estágios estudados, comparando-se com a primeira metodologia desenvolvida, isso se deve ao fato da distribuição dos fragmentos nas classes de estágios sucessionais, os quais foram classificados de forma ajustada por meio do NDVI e do IAF.

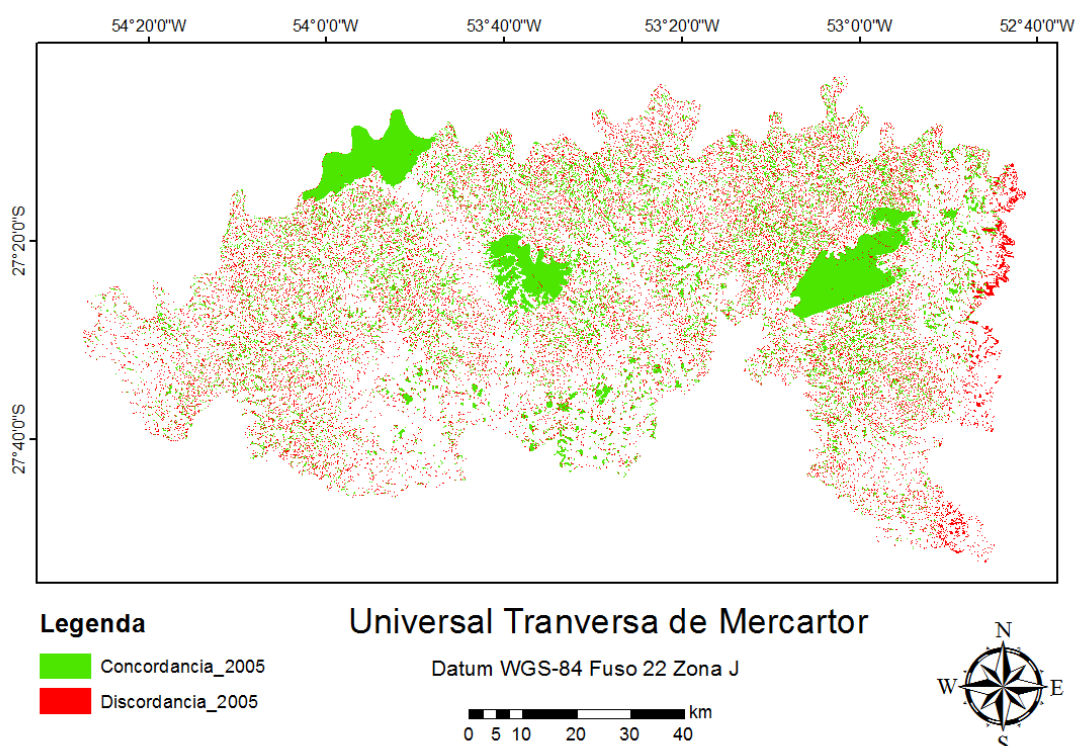
Ambas as metodologias estimaram valores muito próximos somente para o estágio inicial de regeneração, e nos demais estágios sucessionais, as estimativas foram muito diferentes.

A primeira metodologia proposta pode apresentar erros na definição dos estágios sucessionais, e a segunda metodologia, como já observado anteriormente, deve-se tomar cuidado com a data de aquisição das imagens.

Ambas metodologia propostas, são métodos fáceis, baratos, e muito eficientes para se estimar a biomassa de grandes áreas, quando comparadas com métodos de determinação. Os dados de NDVI e IAF foram ajustados pelo modelo de regressão logístico, visto que este modelo se adequa muito bem a dados biofísicos.

Comparando-se os mapas gerados, foi possível se gerar um mapa de comparação entre deles, demonstrando as concordâncias e discordâncias entre ambos os mapas (FIGURA 13).

Figura 13: Mapa de comparação entre as metodologias desenvolvidas, para o ano de 2014.



Fonte: o autor.

As áreas que obtiveram as maiores concordâncias, são os três grandes fragmentos florestais presentes na área de estudo, assim como os fragmentos de tamanho grande. Isso

demonstra que ambas as metodologias estimam valores próximos para estas classes. As maiores discordâncias estão presentes principalmente nas áreas das bordas dos fragmentos, onde possivelmente a primeira metodologia classificou o fragmento inteiro como apenas uma sucessão, e estas áreas podem ter mais de uma sucessão juntas, principalmente tratando-se das bordas dos talhões, onde a classificação pode ser inicial ou média e não avançada. Também percebe-se grandes diferenças nos fragmentos com sucessão inicial, ou nos quais a área foi menor que 5 ha.

Comparando estes estoques com a estimativa gerada a partir do valor médio sugerido pelo Serviço Florestal Brasileiro (SFB, 2015), constata-se que a metodologia oficial sugerida subestima o estoque de biomassa, pois corresponde a apenas 10% e 14,30% da biomassa estimada pelas metodologias deste estudo.

A partir disso, se analisarmos os dados informados pelo SFB (2013), que estimam que as florestas brasileiras armazenam cerca de 105 Gt de biomassa, acima e abaixo do solo, e que a Amazônia corresponde a 84% deste estoque, e transpormos a proporção de subestimativa nos resultados, potencialmente teremos proporções semelhantes de subestimativa do estoque de biomassa e carbono em todo o Bioma Mata Atlântica do RS ou para toda Floresta Atlântica Subtropical.

Este fato pode alterar o atual status das florestas subtropicais nos relatórios nacionais de estoque de biomassa e carbono e, conseqüentemente, quanto ao seu papel na remoção do CO₂ da atmosfera e na mitigação das mudanças climáticas. Portanto, é necessário promover mudanças metodológicas para as estimativas de estoque de biomassa e carbono para as florestas subtropicais do Brasil. Estas metodologias devem ser testadas e validadas a campo, pois se utilizadas para gerar relatórios para o IPCC ou para projetos de REDD, podem levar a entendimentos incorretos.

Estas mudanças e aperfeiçoamentos estão previstas na Iniciativa Alometria no Inventário Florestal Nacional (FREITAS e ROSA, 2014), que busca produzir melhores estimativas dos estoques de biomassa e carbono das florestas a partir da medição da densidade de biomassa e carbono, o que é feito basicamente com dados coletados a campo e da medição da área das classes de uso da terra e tipos florestais para os quais as estimativas serão feitas, geralmente obtido com técnicas de sensoriamento remoto ou mapeamentos de vegetação existentes atualizados.

Portanto, ambas metodologias desenvolvidas e testadas neste trabalho atendem à sistemática nacional e produzem estimativas do estoque de biomassa e carbono mais acuradas. As estimativas geradas por estas metodologias podem qualificar os relatórios

de emissões de gases de efeito estufa produzidos pelo Brasil para o setor de Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra, bem como para o mecanismo de incentivos no contexto da Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal.

5 CONCLUSÕES

Foram desenvolvidas e aplicadas neste estudo duas metodologias para estimar a biomassa e o carbono florestal na região de estudo.

A estimativa de biomassa florestal por meio do uso de dados de imagens de satélite, geraram valores para a primeira metodologia desenvolvida de 80.831 Gg e 61.156 Gg pra a segunda metodologia. Portanto, a primeira metodologia estimou um total de 19.675 Gg a mais para a área de estudo do que a segunda.

As três áreas protegidas que estão presentes no estudo, o Parque Estadual do Turvo, a Reserva Indígena de Nonoai e a Reserva Indígena do Guarita, possuem 25% e 31,5% do estoque total de biomassa da região, segundo as metodologias desenvolvidas, possuindo grande importância como estoque de biomassa e carbono.

De acordo com a primeira metodologia em 1985 o total de carbono presente na área de estudo era de 25.339 Gg, passando para 36.373 Gg em 2014, aumentando mais de 30% em menos de 30 anos. E conforme a segunda metodologia, em 1985 o teor de carbono era de 16.034 Gg, aumentando 41% até 2014 (27.520 Gg).

Foi aplicado um modelo empírico indireto de estimativa, onde a classificação foi realizada em função do índice de área foliar ajustado pelo NDVI para calibrar as estimativas de estoque de biomassa. Devido a este fato, o segundo modelo foi o que estimou os valores mais exatos, e mais próximos dos reais.

É possível estimar o estoque de biomassa e carbono florestal para toda a região noroeste do estado do RS, nas florestais primárias e as florestas secundárias, nos três estágios de regeneração, utilizando as duas metodologias propostas.

De acordo com a segunda metodologia, a biomassa florestal em 2014 na Região Noroeste do estado do Rio Grande do Sul foi de 61.156 Gg, divididos em três estágios de regeneração inicial (602 Gg) médio (8.287 Gg) e avançado (52.267 Gg).

O estoque de carbono estimado para a área de estudo em 2014 foi de 27.520 Gg sendo estes, também estimados conforme o estágio sucessional, inicial (271 Gg), médio (3.729 Gg) e avançado (23.520 Gg).

Portando, de acordo com a segunda metodologia desenvolvida neste estudo, considerada a mais realista e conservada das duas, podemos concluir que em 30 anos de estudo (1985 a 2014), houve um incremento de 11.486 Gg de carbono que corresponde a 42.119 Gg de CO₂ removidos da atmosfera.

Esse estudo ainda demonstrou a importância das florestas do Noroeste Do Estado Do Rio Grande Do Sul na estocagem de biomassa florestal, na redução dos gases do efeito estufa do Brasil, e no quadro das mudanças climáticas mundiais.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALVARES, C. A., et al. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 22(6), 711-728.
- ARNS, C. E.; PIOVEZANA, L. Desenvolvimento econômico na microrregião de Frederico Westphalen (RS). **Revista Grifos**, n. 24, p. 61-74, 2008.
- BALBINOT, R. Carbono, Nitrogênio E Razões Isotópicas σ^{13} e σ^{15} No Solo E Vegetação De Estágios Sucessionais De Floresta Ombrófila Densa Submontana. **Tese** (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná – UFPR. Curitiba, 2009.
- BARRETO, T. G. et al. Dinâmica Da Biomassa E Do Carbono Em Fragmento Urbanode Floresta Ombrófila Mista. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.18; p. 1300. 2014.
- BEZERRA, M. H. M. **Os Desafios De Implementação Da Contribuição Nacionalmente Determinada Brasileira À Luz Do Acordo De Paris**. Trabalho de conclusão (Especialização em Projetos Sustentáveis, Mudanças Climáticas e Mercado de Carbono) – Universidade federal do Paraná, Curitiba, 2016.
- BISSO, A. B. A. Dados Do Sensor Hyperion / Eo-1 Para Análise Das Áreas De Mata Atlântica E De Bananais No Nordeste Do Rio Grande Do Sul. 2010. **Dissertação** (Mestre em Sensoriamento Remoto) – UFRGS, Porto Alegre, 2010.
- BRASIL. Lei nº 12.651 de 25 de Maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm> Acessado em: nov. 2016.
- BRASIL. Lei nº 11.428, de 22 de Dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica. Disponível em: <file:///F:/Disserta%C3%A7%C3%A3o/Resolu%C3%A7%C3%B5es/Lei%20n%C2%BA%2011.428.html> Acessado em: jun. 2016.
- BRASIL. RESOLUÇÃO CONAMA no 388, de 23 de fevereiro de 2007. Publicada no DOU nº 38, de 26 de fevereiro de 2007.
- BRASIL. RESOLUÇÃO CONAMA nº 33, de 7 de dezembro de 1994. Publicada no DOU no 248, de 30 de dezembro de 1994.
- BRASIL. RESOLUÇÃO CONAMA nº 10, de 1 de outubro de 1993. Publicada no DOU no 209, de 3 de novembro de 1993.
- BREUNIG, F. M. et al. Spectral anisotropy of subtropical deciduous forest using MISR and MODIS data acquired under large seasonal variation in solar zenith angle. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 35(part B) (2015), 294–304.

BRUN, E. J.; SCHUMACHER, M. V.; CORRÊA, R.S. Inventário de biomassa e nutrientes em florestas secundárias de Santa Tereza. In: SCHUMACHER, M. V. et al. **A floresta Estacional Subtropical: Caracterização e Ecologia no rebordo do Planalto Meridional**. Santa Maria, 2011. cap 11, p. 215-237.

BRUN, E. J. et al. Variação sucessional no acúmulo de biomassa em Floresta Estacional Decidual, Santa Tereza – RS. **Biomassa e Energia**, Viçosas, v. 2, n. 1, p. 47-56, 2005.

BOELMAN, N. T. et al. Response of NDVI, biomass, and ecosystem gas exchange to long-term warming and fertilization in wet sedge tundra. **Oecologia**, 2003, 135, 414-421.

CALDEIRA, M. V. W. Determinação de biomassa e nutrientes em uma floresta ombrófila mista montana em General Carneiro, Paraná. 2003. 176 f. **Tese** (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

CANAVESI, V. & KIRCHNER, F.F. Estimativa de macronutrientes em floresta ombrófila mista montana utilizando dados de campo e dados obtidos a partir de imagens do satélite ikonosii. **Anais... XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, 16-21 abril de 2005, INPE, p. 1443-1449.

CARUZZO, A.; ROCHA, H. R. Estimativa do Índice de Área Foliar (IAF) em Regiões de Pastagem e Floresta com um método indireto ('gap fraction') durante o Experimento AMC/LBA-1999. **Conference Paper**, 2000.

CERQUEIRA, R. et al. Fragmentação: Alguns conceitos. In: MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Fragmentação de Ecossistemas: Causas, Efeitos sobre a Biodiversidade e Recomendações de Políticas Públicas**. 2. ed. Brasília, RS. 2005. cap.1.

CERQUEIRA, R. et al. Fragmentação: Alguns conceitos. In: MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Fragmentação de Ecossistemas: Causas, Efeitos sobre a Biodiversidade e Recomendações de Políticas Públicas**. 1. ed. Brasília, RS. 2003. cap.1.

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. **Dissertação** (Mestre em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013.

CEZARI, E.J.; LOLIS, S.F. Biologia Da Conservação. Disponível em: <http://nead.uesc.br/arquivos/Biologia/modulo_8-bloco_2/biologia_da_conservacao/material_apoio/M8EBU7_biologia_da_conservacao.pdf>. Acessado em: ago. 2016.

CHANG, M. Seqüestro de Carbono Florestal: oportunidades e riscos para o Brasil. **R. paran. Desenv.**, Curitiba, n. 102, p. 85-101, 2002.

CHANG, Y.C. Seqüestro Florestal de Carbono no Brasil – Dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas. In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M. A. B. (Ed). **Fixação de Carbono: atualidades, projetos e pesquisas**. Curitiba: UFPR/ Ecoplan, 2004.

CLEMENTS, F. E. **Plant Succession**. Washington: Carnegie Institution, Publication 242, 1916. 512 p.

CORRÊA, B. S.; LOUZADA, J. N. C. Bioma cerrado, fragmentação florestal e relações ecológicas com a avifauna. **Revista Agrogeoambiental** – Dez, 2010.

CUNHA, N. G. et al. Estudos de Solos do Município de Frederico Westphalen, RS. **Circular técnica**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Pelotas, set. 2011.

DAJOZ, R. **Princípios de Ecologia**. 7. ed. Porto Alegre : Artamed, 1ª reimpressão, 2006. 520 p.

DETER. Detecção de desmatamento em tempo real. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/deter/indexdeter>> Acessado em: jan. 2017.

ERTHAL, D. A. et al. Dinâmica Da Cobertura Florestal Da Terra Indígena Do Guarita, Rs, Brasil. *Revista Brasileira de Cartografia*. 2017. *Em avaliação*.

FAO - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA. Global forest resources assesment FRA 2005: terms and definitions. Rome, 2004. 34 p. Disponível em: <<http://www.fao.org/forestry/7797-0f7ba44a281b061b9c964d3633d8bf325.pdf>> Acessado em: nov. 2016.

FRANKLIN, S. E. (2001). **Remote sensing for sustainable forest management**. America. Boca Raton, FL: CRC Press.

GALVÃO, L. S. et al. Crop Type Discrimination Using Hyperspectral Data. Disponível em: <<http://pt.bookzz.org/book/2214344/2096ec>> Acessado em: set. 2016.

GLOBAL CARBON. Disponível em: <<http://www.globalcarbonatlas.org/en/content/welcome-carbon-atlas>> Acessado em: dez. 2016.

GONG, P. et al. (2013). Finer resolution observation and monitoring of global land cover: first mapping results with Landsat TM and ETM+ data. **International Journal of Remote Sensing**, 34(7), 2607–2654. <http://doi.org/10.1080/01431161.2012.748992>.

GOODENOUGH, D. G. et al. Combining hyperspectral remote sensing and physical modeling for applications in land ecosystems. **IEEE- International Conference on Geoscienci and Remote Seasing Symposium**, IGARSS'06, Denver, CO, pp. 2000-2004,2006.

GOSWAMI, S. et al. Relationships of NDVI, biomass, and leaf area index (LAI) for six key plant species in Barrow, Alaska. **PeerJPrePrints**, Mar 2015.

GOVENDER, M.; CHETTY, K.; BULCOCK, H. A review of hyperspectral remote sensing and its application in vegetation and water resource studies. **Water AS**. Vol. 33 Nº 2 .April 2007.

GUSSON, E. Avaliação de métodos para quantificação de biomassa e carbono em florestas nativas e restauradas da Mata Atlântica. **Tese** (Doutor em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, 2014. Piracicaba – SP, 113 pag. 2014.

HENTZ, A. M. K. et al. Técnicas De Sensoriamento Remoto Para Estimativa De Biomassa Em Ambientes Florestais. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.18; p. 2014.

HIGUCHI, N.; CARVALHO JÚNIOR, J. A. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: Seminário Emissão x Sequestro de CO₂ – Uma Nova Oportunidade de Negócios para o Brasil, 1994, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CVRD, 1994. p. 125-145.

HUETE, A. et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, 83 (1–2), 195–213. (2002). [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2)

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. RS - SHAPES, mesoregiões, micro, municípios (IBGE, 2008)Disponível em: <<https://fusiontables.google.com/DataSource?docid=1UFry5n20qwjPM-PJiKqkEtLdBHEjFAWErfhuxww#map:id=15>> Acessado em: nov. 2016.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2012.

IBGE- Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa De Informações Básicas Municipais: Perfil dos municípios Brasileiros**. Rio de Janeiro, 2006, 238 p.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>>. Acessado em: ago. 2004.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro, 1992.

IBGE- Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Divisão Regional do Brasil em Mesorregiões e Microrregiões Geográficas**. Vol. nº 1. Rio de Janeiro, 1990.

IPAM- INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA. **Terras indígenas na Amazônia Brasileira: reservas de carbono e barreiras ao desmatamento**. Brasília/DF: IPAM, 2015.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Disponível em: < http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT57_PT.php> Acessado em: jan. 2017.

IPCC. Intergovernmental Panel On Climate Change. Climate Change 2014: Synthesis Report. Disponível em: < https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf> Acessado em: jan. 2017.

KNYAZIKHIN, Y. et al. MODIS Leaf Area Index (LAI) And Fraction Of Photosynthetically Active Radiation Absorbed By Vegetation (FPAR) Product Algorithm Theoretical Basis Document, <http://eospo.gsfc.nasa.gov/atbd/modistables.html>, 1999.

KOPPEN, W., 1936: Das geographische System der Klimate. – KOPPEN, W., R. GEIGER (Eds.): Handbuch der Klimatologie. – GebruderBorntrager, Berlin, 1, 1–44, part C.

LE MAIRE, G.; MARSDEN, C.; NOUVELLON, Y.; GRINAND, C.; HAKAMADA, R.; STAPE, J. L.; LACLAU, J. P. MODIS NDVI time-series allow the monitoring of Eucalyptus plantation biomass. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, n.10, p 2613 - 2625, 2011.

LUTHER, J.E. Biomass mapping using forest type and structure derived from Landsat TM imagery. **Int. J. Appl. Earth Observ. Geoinf.** 2006, 8 vol, 173–187.

MACIEL, M. N.M. et al. Classificação Ecológica Das Espécies Arbóreas: Ecologicalclassificationofarborealspecies. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, Curitiba, v.1, n.2, p. 69-78, abr./jun. 2003.

MADUGUNDU, R.; NIZALAPUR, V.; JHA, C. S. Estimation of LAI and above-ground biomass in deciduous forests: Western Ghats of Karnataka, India. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation** vol. 10.Pag.211–219.2008.

MARION, P.J.F.; FAGUNDES, J.O.; SCHUMACHER, G. A Produtividade, A Especialização E A Concentração Da Produção De Leite Nas Microrregiões Do Rio Grande Do Sul (1990 – 2009). **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v.5, n.1, p. 82-101, jan./abr. 2012.

MCROBERTS, R. E. et al. Methods for evaluating the utilities of local and global maps for increasing the precision of estimates of subtropical forest area. **Can. J. For. Res.** V. 46, p. 924–932, 2016.

MEC- MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf/indsocioeconRS.pdf>> Acessado: dez. 2016.

MIGUEL, E. P. et al. Redes neurais artificiais para a modelagem do volume de madeira e biomassa do cerradão com dados de satélite. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.50, n.9, p.829-839, set. 2015.

MESESES, P. R. et al. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. UNB- CNPq. Brasília, 2012.

MIGUEL, L.A. Entre Os Campos E As Florestas: Origem E Evolução Da Agricultura No Rio Grande Do Sul/ Brasil. Artigo apresentado no Séminaire franco-brésilien. **Dialogues contemporains sur la question agraire et l'agriculture familiale au Brésil et en France**. Paris, 24 et 25 abril 2013.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/mata-atlantica>>. Acessado em: ago. 2016.

NASA - NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. Disponível em: <<http://landsat.gsfc.nasa.gov/>> Acessado em: jan. 2017.

NOGUEIRA, E.M. et al. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. **Forest Ecology and Management**, Vol. n° 256.pag.1853-1867. 2008.

ODUM, E. P. **Ecologia**. 1. ed. Rio de Janeiro : Editora Guanabara Koogan, 1988. 434 p.

PIAZZA, G. et al. Mapeamento de Remanescentes em Estágio Inicial de Sucessão na Floresta Subtropical Atlântica do Sul do Brasil. **Bol. Ciên. Geod.** Curitiba - PR, v. 22, p. 774-789, 2016.

PIAZZA, G. et al. Object-oriented and pixel-based classification approaches to classify tropical successional stages using airborne high-spatial resolution images. **GIScience & Remote Sensing**. (Online), 2016.

PICKELL, P. D. et al. (2016). Forest recovery trends derived from Landsat time series for North American boreal forests. **International Journal of Remote Sensing**, 37(1), 138–149.

PILLAR, V.D. 1994. Dinâmica temporal da vegetação. UFRGS. Disponível em: <http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br/arquivos/Reprints&Manuscripts/Manuscripts&Misc/8_Sucessao_94Nov21.pdf> Acessado em: jul. 2016.

PROCERGS. Companhia de Processamento de Dados do Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://www.biodiversidade.rs.gov.br/portal/index.php?acao=secoes_portal&id=26&submenu=14> Acessado em: jan. 2017.

PROCHNOW, M. **Matas Legais**: Planejando Propriedades e Paisagens. 1ª Edição. Rio do Sul: APREMAVI, 2008. 62 p.

RATUCHNE, L. C. et al. Quantificação de carbono florestal em povoamentos de Araucariaangustifolia no sudoeste do estado do Paraná. **Ambiência** - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais V.11 N.2 Jan./Abr. 2015.

RIBEIRO, S.C. et al. Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma capoeira da zona da mata mineira. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.34, n.3, p.495-504, 2010.

RIBEIRO, S. C. et al. Quantificação De Biomassa E Estimativa De Estoque De Carbono Em Uma Floresta Madura No Município De Viçosa, Minas Gerais. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.33, n.5, p.917-926, 2009.

ROSA, P. A. Dinâmica Espaço-Temporal De Fragmentos Florestais Em Duas Microrregiões Do Noroeste Do Rio Grande Do Sul. 2016. 131 p. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

ROSA, P. A.; BREUNIG, F. M.; ALMEIDA, C.; BALBINOT, R. . Dinâmica de fragmentos florestais no noroeste do Rio Grande do Sul. **Geografia. Ensino & Pesquisa** (UFSM), 2017.

ROSA, P. A.; BREUNIG, F. M.; ALMEIDA, C. M.; BALBINOT, R. Relação Entre População Rural E Cobertura Florestal No Noroeste Do Rio Grande Do Sul. **Rbc. Revista Brasileira de Cartografia** (Online), 2017.

ROSENDO, J. S. Índices De Vegetação E Monitoramento Do Uso Do Solo E Cobertura Vegetal Na Bacia Do Rio Araguari - MG – Utilizando Dados Do Sensor MODIS. **Dissertação** (Mestre em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, 2005. Uberlândia – MG, 152 pag. 2005.

ROVANI, F.F.M.; WERLANG, M.; CASSOL, R. Microrregiões Geográficas Do Rio Grande Do Sul: Uma Caracterização Econômica A Partir Do Modelo De Weaver. **Disc. Scientia**. Série: Ciências Humanas, S. Maria, v. 9, n. 1, p. 111-120, 2008.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium**, 3, 1973, Washington, DC. Proceedings... Washington, DC: NASA, 1973. p. 309-317.

SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. **In: SANQUETTA, C. R. et al. As florestas e o carbono**. Curitiba: UFPR, 2002. Cap. 6. 119-141p.

SCHAFFER, W.B.; PROCHNOW, M. **A Mata Atlântica e Você: como preservar, recuperar e se beneficiar da mais ameaçada floresta brasileira**. Brasília: Apremavi, 2002. 156 p.

SCHNEIDER, P. R. et al. Determinação Indireta Do Estoque De Biomassa E Carbono Em Povoamentos De Acácia-Negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 391-402. 2005.

SCHOENINGER, E. R. et al. Uso de redes neurais artificiais como uma alternativa para mapeamento de biomassa e carbono orgânico no componente arbóreo de florestas naturais. **Ambiência** - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais V. 4 N. 3 Set./Dez. 2008.

SCIPIONI, M. C. et al. Fitossociologia Em Fragmento Florestal No Noroeste Do Estado Do Rio Grande Do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 409-419, jul.-set., 2011.

SEMA - SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE . **Plano de manejo do Parque Estadual do Turvo**. Porto Alegre: SEMA, 2005. 348 p.

SEPLAN - Secretaria do Planejamento, Mobilidade e Desenvolvimento Regional. Atlas Socioeconômico Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://www.atlassocioeconomico.rs.gov.br/conteudo.asp?cod_menu_filho=791&cod_menu=790&tipo_menu=APRESENTACAO&cod_conteudo=1332> Acessado em: dez. 2016.

SFB - SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO . **Florestas do Brasil em resumo – 2013**: dados de 2007-2012. Brasília, 2013.

SFB - SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO . Recursos Florestais. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/snif/>. Acessado em: ago. 2016.

SBF - SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. Estoque das Florestas. 2015. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/estoque-das-florestas?print=1&tmpl=component>> Acessado em: nov. 2016.

SNIF – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES FLORESTAIS. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&catid=14&id=218> Acessado em: nov. 2016.

SOCHER, L. G.; RODERJAN, C.V.; GALVÃO, F. Biomassa Aérea De Uma Floresta Ombrófila Mista Aluvial No Município De Araucária (PR). **FLORESTA**, Curitiba- PR, v. 38, n. 2, abr./jun. 2008.

SOS MATA ATLÂNTICA. Relatórios anuais. Disponível em: <<https://www.sosma.org.br/quem-somos/relatorios-e-balancos/>> Acessado em: jan. 2017.

SOS MATA ATLÂNTICA. Informações do Atlas dos Remanescentes Florestais. Disponível em: <<http://mapas.sosma.org.br/dados/>> Acessado em: jan. 2017.

STEFFEN, C. A. INTRODUÇÃO AO SENSORIAMENTO REMOTO. Apostila. Disponível em: <<http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>> Acessado em: jan. 2017.

STEIN, A.Q.; CONTERATO, M.A. Agricultura Familiar E Agricultura Não Familiar Em Microrregiões Seleccionadas Do Rio Grande Do Sul: Considerações A Partir Do Censo Agropecuário 2006. Disponível em: <http://www.pucrs.br/eventos/eeg/download/Mesa2/Agricultura_Familiar_e_Agricultura_ao_nao_familiar_em_Microrregioes_Seleccionadas_do_RS-Consideracoes_a_partir_do_Censo_Agropecuario_2006.pdf> Acessado em: jul. 2016.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2ª ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 222 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Artmed. 2006. 643 p.

TERAKUNPISUT, J.; GAJASENI, N.; RUANKAWE, N. Carbon Sequestration Potential In Aboveground Biomass of Thong Pha Phum National Forest, Thailand. **Appl. Ecol. Environ. Res.** 5, 93–102.

TRAUTENMÜLLER, J. W. Quantificação E Distribuição Do Estoque De Biomassa Acima Do Solo Em Floresta Estacional Decidual. 2015. 92 p. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia – Agricultura e Ambiente) – Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2015.

TOWNSEND, C. R.; BEGON, M.; HARPER, J.L. **Fundamentos em Ecologia**. 2. ed. Porto Alegre : Artamed, 2006. 592 p.

UNFCCC – UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. Disponível em: <http://unfccc.int/ghg_data/ghg_data_unfccc/items/4146.php> Acessado em: nov. 2016.

USGS – United States Geological Survey. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>> Acessado em: nov. 2016.

VIANA, V.M.; PINHEIRO, A.F.V. Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais. **Série Técnica IPEF**. v. 12, n. 32, p. 25-42, dez. 1998.

VOGEL, H. L. M.; SCHUMACHER, M. V.; TRÜBY, P. Biomassa E Macronutrientes De Uma Floresta Estacional Decidual Em Itaara-Rs, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, n.1, 99-105, 2013.

VOGEL, H. L. M.; SCHUMACHER, M. V.; TRÜBY, P. Quantificação Da Biomassa Em Uma Floresta Estacional Decidual Em Itaara, Rs, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 4, 2006.

WALKER, D. A. et al The Circumpolar Arctic vegetation map. **Journal of Vegetation Science**, 2005, 16, 267-282.

WANG, X.; FENG, Z.; OUYANG, Z. The impact of human disturbance on vegetative carbon storage in Forest ecosystems in China. **Forest Ecology and Management**, v. 148, p. 117-123, 2001.

WATZLAWICK, L. F. et al. Estoque de biomassa e carbono na Floresta Ombrófila Mista Montana Paraná. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 353-362, set. 2012.

WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F. SANQUETTA, R. C. Estimativa De Biomassa E Carbono Em Floresta Com Araucaria Utilizando Imagens Do Satélite Ikonos I. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 169-181, abr.-jun., 2009.

WATZLAWICK, L. F. et al. Fixação de carbono em floresta ombrófila mista em diferentes estágios de regeneração. In: SANQUETTA, C. R. et al. **As florestas e o carbono**. Curitiba, PR, 2007. Cap8, p. 153-173.

WATZLAWICK, L. F.; KOEHLER, H. S.; KIRCHNER, F. L. Estimativa de biomassa e carbono em plantios de Pinus taeda L. utilizando imagens do satélite IKONOS II. **Ciência e Natura**, UFSM, 28 (1): 45 - 60, 2006.

WEBER, K. S. et al. Teores de carbono orgânico de seis espécies naturais do ecossistema da Floresta Ombrófila Mista. **Rev. Ambiência**, Guarapuava, v. 2, n. 2 p. 167-177, 2006.