

# DINÂMICA ESPACIAL DO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO EM REMANESCENTES FLORESTAIS NO RIO GRANDE DO SUL – BRASIL

*SPATIAL DYNAMICS OF BIOMASS AND CARBON STOCK IN FOREST REMAINING IN RIO GRANDE DO SUL – BRAZIL*

*Daniele Arndt Erthal<sup>1</sup>, Rafaelo Balbinot<sup>2</sup>, Fábio Marcelo Breunig<sup>3</sup>, Paulo Afonso da Rosa<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil – [erthal.dani.a@gmail.com](mailto:erthal.dani.a@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, Brasil – [rafaelo.balbinot@gmail.com](mailto:rafaelo.balbinot@gmail.com)

<sup>3</sup>Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, Brasil – [fabio-breunig@gmail.com](mailto:fabio-breunig@gmail.com)

<sup>4</sup>Saltus Consultoria Ambiental e Florestal, Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, Brasil – [pauloafonso.darosa@gmail.com](mailto:pauloafonso.darosa@gmail.com)

## RESUMO

Entre os diversos serviços ambientais prestados pelos ecossistemas florestais, destaca-se o sequestro e estocagem do carbono na forma de biomassa. Assim, o objetivo do trabalho foi estimar e investigar a dinâmica do estoque da biomassa e do carbono florestal aéreo em estágios sucessionais de regeneração em florestas nativas na Região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, utilizando dados de Sensoriamento Remoto. O estudo foi realizado em três décadas (1985-2014), abrangendo 9.046,9 km<sup>2</sup>. A classificação das sucessões florestais em estágios de regeneração foi realizada a partir das seguintes classes de tamanho: inicial (< 5 ha), médio (5 - 10 ha), avançado (> 10 ha). Na sequência, foi estimada a biomassa e o carbono para cada fragmento florestal, conforme sua evolução ao longo do tempo. A biomassa florestal foi estimada para as datas de 1985, 1994, 2005 e 2014, avaliando a dinâmica da biomassa e do carbono florestal presente na área de estudo durante este período. A biomassa total estimada foi de 80.831 Gg, dividida em três estágios de regeneração: inicial (659 Gg), médio (2.549 Gg) e avançado (77.623 Gg). O carbono estimado 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. Os resultados obtidos neste estudo são de suma importância, pois demonstram que as florestas presentes na região noroeste do Rio Grande Do Sul estão contribuindo positivamente com a remoção de dióxido de carbono da atmosfera, consequentemente auxiliando na mitigação das alterações climáticas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Florestas, Imagens orbitais, Sensoriamento remoto, Sucessão florestal.

## ABSTRACT

Among the various environmental services provided by forest ecosystems, the sequestration and storage of carbon in the form of biomass stands out. Thus, the objective of this work was to estimate and investigate the dynamics of biomass stock and aerial forest carbon in successional stages of regeneration in native forests in the Northwest Region of the State of Rio Grande do Sul, Brazil, using Remote Sensing data. The study was carried out over three decades (1985-2014), covering 9,046.9 km<sup>2</sup>. The classification of forest successions in stages of regeneration was performed based on the following size classes: initial (< 5 ha), medium (5 - 10 ha), and advanced (>10 ha). Next, biomass and carbon were estimated for each forest fragment, according to its evolution over time. Forest biomass was estimated for the dates 1985, 1994, 2005 and 2014, evaluating the dynamics of biomass and forest carbon present in the study area during this period. The estimated total biomass was 80,831 Gg, divided into three stages of regeneration: initial (659 Gg), medium (2,549 Gg) and advanced (77,623 Gg). The estimated carbon was 296 Gg for the initial stage, 1,147 for the medium stage and 34,930 for the advanced stage, totaling 36,373 Gg. The results obtained in this study are extremely important, as they demonstrate that the forests present in the northwest region of Rio Grande Do South are contributing positively to the removal of carbon dioxide from the atmosphere, consequently helping to mitigate climate change.

**KEYWORDS:** Forests, Orbital images, Remote sensing, Forest succession.

## INTRODUÇÃO

As florestas brasileiras estão distribuídas em seis biomas, e cobrem cerca de 58% do território nacional. Essa área representa a segunda maior cobertura florestal do mundo, sendo menor apenas que as florestas da Rússia (SFB, 2013; SFB, 2016; SNIF, 2016; SOS MATA ATLÂNTICA, 2017). Distribuídos eminentemente ao longo da costa do atlântico e em regiões continentais subtropicais estão presentes fragmentos nativos do bioma Mata Atlântica. De acordo com Sanquetta (2008), São várias as fitofisionomias contidas no domínio da Mata Atlântica, entre as quais destacam-se: Floresta Ombrófila Densa ou Floresta Atlântica (senso estrito); Floresta Ombrófila Aberta; Floresta Ombrófila Mista ou Floresta de Araucária; Floresta Estacional Semidecidual ou Floresta Tropical Subcaducifólia; Floresta Estacional Decidual; Formações pioneiras (restingas, manguezais, campos sulinos e vegetação com influência fluvial ou lacustre); Encraves de Cerrado e Estepe e Zonas de Tensão Ecológica. No sul do Brasil, a Floresta Estacional Decidual (FED) e a Floresta Ombrófila Mista (FOM), são as fitofisionomias presentes no Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Em geral, esses fragmentos remanescentes ainda carecem de estudos, especialmente considerando abordagens espaciais para a estimativa do estoque de biomassa e carbono (SFB, 2013; SFB, 2016; SNIF, 2016; SOS MATA ATLÂNTICA, 2017).

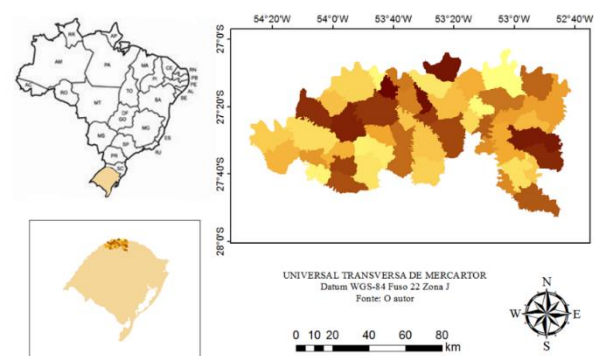
Devido à remoção da vegetação nativa até o fim do século XX, vivenciamos hoje a “era da vegetação secundária”, uma vez que a vegetação original se encontra espacialmente reduzida e em processo de adaptação às novas condições ambientais, ocasionadas principalmente pelas atividades antrópicas (BRUN *et 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.

Dado o comprometimento do Brasil em reduzir as emissões dos gases de efeito estufa no acordo de Paris, em 37% até o ano de 2025, e 43% até o ano de 2030 considerando os níveis de emissões em 2005 (BEZERRA, 2016; FACCIN, 2019), é fundamental entender o papel das florestas nativas na mitigação das emissões do CO<sub>2</sub> 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, o presente trabalho tem por objetivo estimar e analisar a dinâmica do estoque da biomassa e do carbono florestal arbóreo em estágios sucessionais de regeneração na Região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende o Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul e pertence à mesorregião Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, abrangendo as microrregiões de Frederico Westphalen e a de Três Passos (IBGE, 2021). A área de estudo engloba 9.127 km<sup>2</sup> (Figura 1). De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, o clima da área de estudo, é do tipo Cfa (clima mesotérmico, úmido e verões brandos) subtropical úmido (KÖPPEN, 1931; ALVARES *et al.*, 2013). A temperatura média anual varia entre 17-20°C. A temperatura média do mês mais frio oscila entre 11-14°C e a temperatura média do mês mais quente varia entre 23-26°C (ROSSATO, 2020). De acordo com o mesmo autor, a precipitação pluviométrica média é 1.700-1.800 bem distribuída ao longo do ano, em decorrência das massas de ar que penetram no Estado. A área de estudo envolve 47 municípios do norte/noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil (IBGE, 2021).



**Figura 1.** Mapa de localização da área de estudo. Fonte: Limites políticos obtidos do IBGE (2021).

A área de estudo foi selecionada devido sua importância ecológica, social e principalmente, pelo estoque de biomassa e potencial de mitigação do carbono na região sul do país. Também, devido a facilidade de se realizar os estudos na área selecionada, e por ser uma área que ainda carece de novos estudos.

As imagens utilizadas para realização do estudo foram adquiridas para quatro datas: 1985, 1994, 2005 e 2014, através do *Earth Explorer* (USGS, 2022) estas imagens foram obtidas pelo satélite Landsat 5 e 7, ambas disponíveis com as correções atmosféricas já realizadas e resolução espacial de 30 metros.

Os dados de tamanho e a quantidade dos fragmentos florestais foram obtidos segundo Rosa (2016), para o período de estudo. Posteriormente, foram classificados conforme critérios de tamanho e evolução no tempo, em florestas primárias e secundárias (em estágios inicial, médio e avançado de regeneração). Os critérios base foram seguidos de acordo com a Resolução Conama nº 33 (BRASIL, 1994), que define estágios sucessionais das formações vegetais que ocorrem na região da Mata Atlântica do Estado do Rio Grande do Sul, visando viabilizar critérios, normas e procedimentos para o manejo, utilização racional e conservação da vegetação natural.

Na primeira etapa, os fragmentos menores que cinco hectares foram considerados como floresta secundária em estágio inicial de regeneração. Já os fragmentos maiores que cinco e menores que 10 hectares, foram classificados como estágio médio. Os fragmentos com mais de 10 hectares, por sua vez, compreenderam o estágio avançado. As formações primárias foram consideradas como estágio avançado de regeneração por apresentarem registros de intervenção como corte seletivo de madeiras de alto valor no passado (SEMA, 2005; ERTHAL *et al.*, 2018). Ao agrupar as florestas primárias, na classe de sucessão secundária avançado, assume-se um caráter conservador para as estimativas de biomassa. Para a redução de erros associados a classificação genérica considerando o tamanho, a evolução temporal dos fragmentos foi incorporada numa segunda etapa.

Além disso, cada fragmento foi analisado conforme sua evolução no tempo, pois os fragmentos analisados inicialmente, levaram em consideração somente seu tamanho em área. Esse fato poderia ocasionar erros na classificação sucessional desses fragmentos. Dessa forma, foi fundamental analisar temporalmente os fragmentos considerando o avanço dos estágios sucessionais no intervalo de tempo analisado.

Esses limiares foram baseados na experiência e conhecimento de campo dos pesquisadores, em outros

trabalhos realizados na região de estudo, como os realizados por Breunig *et al.* (2015), que estudou a Anisotropia espectral de floresta decídua subtropical usando dados MISR e MODIS adquiridos sob grande variação sazonal no ângulo do zênite solar, os realizados por Trautenmüller (2015), que estudou a quantificação e distribuição do estoque de biomassa acima do solo em Floresta Estacional Decidual, e os realizados por Erthal *et al.* (2018), que estudou a dinâmica da cobertura florestal da Terra Indígena do Guarita, RS, Brasil. nos quais foi possível obter informações dos fragmentos florestais e de sua estrutura interna com a divisão das florestas primárias ou secundárias em estágio inicial, médio ou avançado de regeneração.

Os valores de biomassa para as tipologias da Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional Decidual foram obtidos por meio de uma revisão bibliográfica, utilizando pesquisas que desenvolveram medições diretas da biomassa. Foram considerados estudos realizados por Trautenmüller (2015), Vogel *et al.* (2013), Watzlawick *et al.* (2012), Brun *et al.* (2011), Ribeiro *et al.* (2010), Socher *et al.* (2008), Watzlawick *et al.* (2007), Vogel *et al.* (2006), e por Brun *et al.* (2005). Posteriormente, calculou-se a média destes valores pesquisados que foram utilizados para a estimativa da biomassa da área total de cada estágio de sucessão florestal.

De posse desses valores, estimou-se o carbono, utilizando valores reportados na literatura. Segundo Wang *et al.* (2001), o fator linear de concentração de carbono de 45% da biomassa vem servindo de base em inúmeros estudos, e, portanto, este foi o valor adotado. Ainda, gerou-se mapas da distribuição da biomassa e carbono para as quatro imagens estudadas, com o objetivo de entender a dinâmica espacial da biomassa e carbono estocados na área de estudo. Todos os mapas temáticos e cálculos foram gerados no programa ArcGis.

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.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Número de fragmentos por estágio sucessionial

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 1). É válido destacar que os fragmentos, especialmente em estágio inicial não necessariamente pertenciam a este estágio, pois inicialmente foram classificados apenas por sua área. Os fragmentos foram reclassificados, conforme o comportamento temporal, fisionomia e biodiversidade, possibilitando avaliar a evolução da vegetação.

**Tabela 1.** Número de fragmentos para cada estágio sucessional para o período de análise no noroeste do RS - Brasil.

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

Ao analisar a Tabela 1, a categoria que apresentou a maior presença de fragmentos para 1985, foi o estágio médio de regeneração. Avançando quase uma década, foi possível observar que houve um decréscimo nas sucessões médio e avançado e o surgimento da classe inicial. Esse fato pode estar relacionado ao abandono de áreas ocasionadas pelo êxodo rural, hipótese que foi levantada por Rosa (2016). Já em 2005, as três categorias sucessionais obtiveram grandes acréscimos em área, possivelmente pelo abandono de áreas impulsionado pela evolução tecnológica e uso de maquinário agrícola (MIGUEL, 2015), acarretando no surgimento de novos fragmentos iniciais. A sucessão do estágio médio em 2005 reduziu, enquanto que a sucessão em estágio avançado aumentou, devido à junção de fragmentos menores. No ano de 2014 ocorreu um decréscimo de quase 71% dos fragmentos iniciais, de 19,8% da sucessão em estágio médio pela junção dos fragmentos, acarretando no aumento da sucessão avançado em 13%, em relação ao ano de 2005. 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, sendo um indicativo de junção de polígonos (fragmentos) menores, ocasionando um aumento da regeneração avançado no decorrer de 30 anos, podendo ser um indicativo da consolidação destes fragmentos. A formação de fragmentos de maior porte representa melhores oportunidades para o restabelecimento da flora e fauna.

Após o cálculo da quantidade de fragmentos para cada estágio de regeneração, foi possível estimar a área em

hectares para cada uma das regenerações no decorrer do período avaliado (Tabela 3). Entre 1985 a 1994, foi possível observar uma diminuição de áreas, com grande importância na classe de florestas primárias e secundárias em estágio avançado, as quais podem ter sido provocadas pelos grandes incentivos para abertura de novas áreas, além da conversão do uso do solo para agricultura e ocupação destas terras pelas famílias de agricultores. Ainda, observa-se 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 nº 12.651 de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012), que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, incluindo Áreas de Preservação Permanente, de Reserva Legal e de Uso Restrito; a exploração florestal, o suprimento de matéria-prima florestal, o controle da origem dos produtos florestais, o controle e prevenção dos incêndios florestais, e a previsão de instrumentos econômicos e financeiros para o alcance de seus objetivos..

**Tabela 2.** Fragmentos florestais nativos nos estágios inicial, médio e avançado e sua dinâmica nos últimos 30 anos, na Região Noroeste do RS - Brasil.

Fragmentos	Área (ha)			
	1985	1994	2005	2014
Inicial	-	27.908	28.272	9.776
Médio	29.657	21.412	21.347	14.385
Avançado	134.109	112.879	140.147	203.901

### Biomassa Florestal em cada estágio Sucessional

O valor médio estimado de biomassa florestal para a sucessão florestal secundária em estágio de regeneração inicial foi de 0,067 Gg ha<sup>-1</sup>, regeneração em estágio médio de 0,177 Gg ha<sup>-1</sup> e para o nível avançado de 0,38 Gg ha<sup>-1</sup>. 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. A determinação destes valores é a média dos valores obtidos conforme a pesquisa minuciosa da bibliografia (TRAUTENMÜLLER, 2015; VOGEL et al., 2013; WATZLAWICK et al., 2012; BRUN et al., 2011; RIBEIRO et al., 2010; SOCHER et al., 2008; WATZLAWICK et al., 2007; VOGEL et al., 2006; e por BRUN et al., 2005).

Watzlawick et al. (2007) determinaram a biomassa de uma floresta ombrófila mista secundária nos três estágios de regeneração, com valores de 69,37 Mg ha<sup>-1</sup> para regeneração inicial, 168,84 Mg ha<sup>-1</sup> para regeneração em estágio médio e 397,79 Mg ha<sup>-1</sup> e para o estágio avançado. Já Trautenmüller (2015), ao analisar a FED, obteve 371,1

Mg ha<sup>-1</sup> de biomassa para uma floresta em estágio avançado. Assim, a partir da determinação da média dos valores conhecidos, se estimou a biomassa florestal para este estudo.

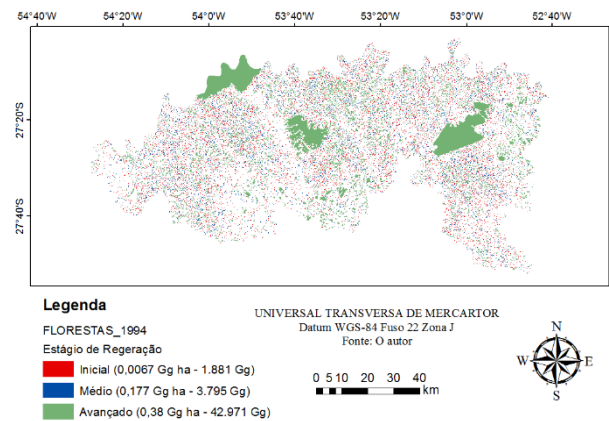
Baseado nestes valores (estágio inicial de regeneração: 0,067 Gg ha<sup>-1</sup>; estágio médio de regeneração: 0,177 Gg ha<sup>-1</sup> e estágio avançado de regeneração: 0,38 Gg ha<sup>-1</sup>) se estimou a biomassa florestal para a área de estudo, a qual teve um aumento de 30% entre o início e o fim dessa análise aumentando de 56.310 Gg para 80.831 Gg (Tabela 3).

**Tabela 3.** Estimativa da biomassa florestal para as regenerações no estágio inicial, médio e avançado, no período avaliado a área de estudo.

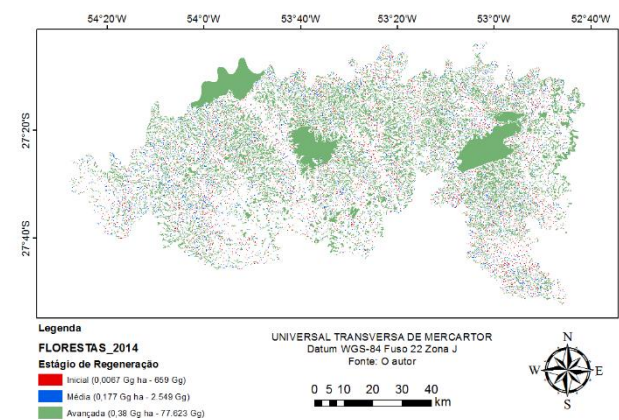
Fragmentos	Biomassa (Gg)			
	1985	1994	2005	2014
Inicial	0	1.881	1.905	659
Médio	5.256	3.795	3.783	2.549
Avançado	51.051	42.971	53.352	77.623
<b>TOTAL</b>	<b>56.310</b>	<b>48.647</b>	<b>59.040</b>	<b>80.831</b>

No ano de 1985 a 2014 a biomassa no estágio avançado de regeneração teve um aumento de 26.6 Gg ha<sup>-1</sup> onde essas áreas detinham um estoque de 80.8 Gg de biomassa florestal, para a área de estudo. Ainda em 2014, os fragmentos iniciais diminuiram significativamente para menos de 50% dos fragmentos presentes no ano de 2005, devido a consolidação e a conservação de fragmentos maiores. Os fragmentos médios apresentaram um comportamento similar aos iniciais, unificados a fragmentos maiores ou foram desmatados por meio de licenças florestais para transformação do uso do solo, emitidas pelos órgãos competentes.

A evolução da dinâmica da biomassa no decorrer dos 30 anos conforme as sucessões florestais, também pode ser observada nas Figuras 2 e 3, as quais ressaltam o aumento dos fragmentos florestais, em especial dos avançados, entre 1985 e 2014, acarretando num expressivo aumento da biomassa. Os mapas representam a distribuição dos fragmentos, e o estoque de biomassa.



**Figura 2.** Mapa de cobertura florestal e respectivo estoque de biomassa por estágio sucessional no ano de 1994.



**Figura 3.** Mapa de cobertura florestal e respectivo estoque de biomassa por estágio sucessional no ano de 2014.

Segundo dados do Serviço Florestal Brasileiro (SFB, 2015) a estimativa de biomassa para o bioma Mata Atlântica, é em médio de 0,115 Gg ha<sup>-1</sup>, valor inferior aos encontrados nas referências bibliográficas usadas no estudo (TRAUTENMÜLLER, 2015; VOGEL et al., 2013; WATZLAWICK et al., 2012; BRUN et al., 2011; RIBEIRO et al., 2010; SOCHER et al., 2008; WATZLAWICK et al., 2007; VOGEL et al., 2006; e por BRUN et al., 2005).

Aplicando-se esse valor fornecido pelo SFB anteriormente, na área deste estudo, que no ano de 2014 era 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<sup>-1</sup>, 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 então subestimando o potencial das florestas presentes na área de estudo, incidindo numa redução do possível estoque de biomassa de 57.382 Gg, do que realmente há.

Portanto, 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-se principalmente 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 gera um indicativo para que trabalhos futuros dediquem mais recursos e tempo para esta categoria de fragmento otimizando o uso de imagens de satélite 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.

Analisando a distribuição dos fragmentos nos mapas gerados de 1985 e 2014, é possível perceber a evolução dos fragmentos florestais e o aumento desses em estágio avançado. Em 1985, o estágio médio de regeneração apresentava a maior presença na área de estudo em relação a 2014, demonstrando a grande consolidação de áreas com a junção desses fragmentos menores. Além disso, não foram quantificados os fragmentos do estágio inicial em 1985, pelo histórico da área antes desta data.

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 expresso 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 km<sup>2</sup>. Em 2010 esse valor caiu para 23,01 km<sup>2</sup>, vindo a aumentar em 2014 para 75,41 km<sup>2</sup>, e em 2016 esse valor foi de 62,96 km<sup>2</sup>. Ainda segundo informações do DETER (2016), desde 2004 até 2016, as alterações da cobertura florestal chegam a 1.626,84 km<sup>2</sup> o que equivalem a 162.684 ha, valor este que

comparado a área de estudo seria 79,78% da área estudada com cobertura modificada.

Na área de estudo, podem ser localizadas três áreas com grande potencial de estocar biomassa, sendo elas o Parque estadual do Turvo, com uma área de 17.211 ha que totalizam 6.552 Gg de biomassa, a Reserva Indígena de Nonoai, com área de 14,163 ha e biomassa de 5.392 Gg e a Reserva Indígena do Guarita, com área de 19.381 ha, com 7.378 Gg de biomassa. Juntas estas áreas totalizam 50.757 ha, e um total de 19.322 Gg de biomassa.

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, por terem sido protegidas e não colonizadas, não apresentando alterações no uso e ocupação do solo, mantendo o potencial dessas florestas no estoque de CO<sub>2</sub> (BREUNIG *et al.*, 2011).

Um ponto a ser destacado refere-se à presença das Terras Indígenas (TIs) e da Unidade de Conservação Parque Estadual do Turvo e sua contribuição para a mitigação climática no país (PRADO, 2022; SILVA, *et al.*, 2018). 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 (PRADO, 2022; 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; FACCIN, 2019). Segundo Rosa (2016), 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 CO<sub>2</sub> constitui 45% da biomassa estimada (WANG *et al.*, 2001) (Tabela 4):

**Tabela 4.** Estimativa do estoque de carbono aéreo em remanescentes florestais no noroeste do RS - Brasil.

Fragmentos	Carbono (Gg)			
	1985	1994	2005	2014
Inicial	0	846	857	296
Médio	2.365	1.707	1.703	1.147
Avançado	22.974	19.337	24.008	34.930
<b>TOTAL</b>	<b>25.339</b>	<b>21.891</b>	<b>26.568</b>	<b>36.373</b>

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 CO<sub>2</sub> 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.

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

Segundo Terakunpisut, Gajasen e 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.

De acordo com os estudos realizados por Veres. *et al.* (2020), os estágios médio/inicial de possibilita um menor acúmulo de biomassa e carbono na maioria dos componentes, quando comparado com outras formações em estágios mais avançados de sucessão.

A região deste estudo, não chega a abranger 1% da área total do Brasil, e estoca 36 Mg de CO<sub>2</sub>, caso a área fosse desmatada acarretaria em um acréscimo de 7% na emissão de CO<sub>2</sub> total para o Brasil. Visto que em 2014, o total de emissões era 527 Mg, diminuindo 3% para 2015, é possível observar a importância da área de estudo no estoque de CO<sub>2</sub>.

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 à 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.

Ainda, de acordo com os estudos realizados por Sanquetta *et al.* (2018), que estimou os estoques de biomassa e carbono para diversos biomas, incluindo a mata atlântica, os estoques de volume, biomassa e carbono decresceram em todos os biomas no período de análise, em decorrência da perda de cobertura florestal.

Assim este estudo demonstra sua importância, local, regional e global, visto que a biomassa e o carbono foram calculados conforme estágio sucessional, bem como desenvolvendo uma metodologia precisa a baixo custo operacional.

O método utilizou imagens de média resolução espacial e a não verificação de todos os fragmentos florestais a campo. Por esses motivos, 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 CO<sub>2</sub>, reduzindo os gases do efeito estufa do Brasil e contribuindo no quadro das mudanças climáticas mundiais.

## CONCLUSÕES

A estimativa do estoque de biomassa florestal gerada por esta metodologia foi de 56.310 Gg no de 1985, 48.647 Gg no ano de 1994, 59.040 Gg para o ano de 2005 e, 80.831 Gg no ano de 2014, considerando as formações primárias e secundárias em estágios inicial, médio e avançado de regeneração.

De acordo com este trabalho, em 1985 o total de carbono na área de estudo era de 25.339 Gg sobrevivendo para 36.373 Gg em 2014, aumento de mais de 30% em menos de 30 anos.

As estimativas dos estoques de biomassa e carbono, e sua dinâmica no tempo, demonstram que as florestas da região Noroeste do Rio Grande Do Sul estão contribuindo positivamente com a remoção de dióxido de carbono da atmosfera, consequentemente auxiliando na mitigação das alterações climáticas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPQ (processos 305084/2020-8, 478085/2013-3 e 305914/2014-6) pelo auxílio financeiro e, aos membros da equipe de campo pela valiosa ajuda e colaboração.

## REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 22(6), 711-728, 2013.
- BEZERRA, M. H. M. **Os Desafios De Implementação Da Contribuição Nacionalmente Determinada Brasileira À Luz Do Acordo De Paris**. 2016. 41 pag. (Trabalho de Conclusão de Curso Especialização).
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2012. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm)
- BRASIL. RESOLUÇÃO CONAMA, Nº 33. de 7 de dezembro de 1994. **Diário Oficial da União**, Brasília, 1994. Disponível em: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.mprs.mp.br/media/areas/gapp/arquivos/resol\\_conama\\_33\\_1994.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.mprs.mp.br/media/areas/gapp/arquivos/resol_conama_33_1994.pdf)
- 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**. Pag. 294–304, 2015.
- BREUNIG, F. M. et al. Caracterização espectral e temporal da vegetação nativa do Parque Estadual do Turvo e da Terra Indígena do Guarita – RS, com produtos MODIS. **XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, p.1765, 2011.
- 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**. cap 11, p. 215-237, 2011.
- BRUN, E. J. et al. Variação sucessional no acúmulo de biomassa em Floresta Estacional Decidual, Santa Tereza – RS. **Biomassa e Energia**, p. 47-56, 2005.
- CORRÊA, B. S.; LOUZADA, J. N. C. Bioma cerrado, fragmentação florestal e relações ecológicas com a avifauna. **Revista Agrogeoambiental**, 2010.
- 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 (Dynamics of the forest cover of Guarita indigenous land, RS, Brazil). **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.11, pág. 2160-2172, 2018.
- FACCIN, F. **Impactos das Metas do Acordo de Paris sobre a Economia Brasileira: Uma Abordagem de Equilíbrio Geral Computável**. 2019. 58 p. (Dissertação de Mestrado).
- IBGE- FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Divisão Regional do Brasil em Mesorregiões e Microrregiões Geográficas. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads>
- IPAM- INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA. Terras indígenas na Amazônia Brasileira: reservas de carbono e barreiras ao desmatamento. Brasília/DF: IPAM, 2015.
- KOPPEN, W. Das geographische System der Klimate. – KOPPEN, W., R. GEIGER (Eds.): **Handbuch der Klimatologie**. – **GebruderBorntrager**, Berlin, 1, 1–44, part C, 1936.
- 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.
- 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. nº 256. pag.1853-1867, 2008.
- PRADO, H. V. do. **Mudanças de uso e cobertura da terra em terras indígenas e entorno no Estado do Amazonas**. 2022. 64 pág. (Trabalho de Conclusão de Curso).
- RIBEIRO, S.C. et al. Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma capoeira da zona da mata mineira. **Revista Árvore**, 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. **Revista Árvore**,.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 de Mestrado).
- ROSA, P. A. et al. Dinâmica de fragmentos florestais no noroeste do Rio Grande do Sul. **Geografia. Ensino & Pesquisa**. p. 177-189, 2017.
- ROSA, P. A. et al. Relação Entre População Rural E Cobertura Florestal No Noroeste Do Rio Grande Do Sul. **Rbc. Revista Brasileira de Cartografia**. p. 1993-2006, 2017.
- SANQUETTA, C. R. et al. **Dinâmica em superfície, volume, biomassa e carbono nas florestas nativas brasileiras: 1990-2015**. BIOFIX Scientific Journal v. 3. p. 193-198, 2018.
- SANQUETTA, C. R. **Experiências de monitoramento no bioma Mata Atlântica com uso de parcelas permanentes**. Curitiba - PR, 2008.
- SFB - SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Florestas do Brasil em resumo – 2013: dados de 2007-2012**. Brasília, 2013.
- 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>
- SBF - SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. Recursos Florestais. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/snif/>. Acessado em: jul. 2022.
- SEMA - SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE . **Plano de manejo do Parque Estadual do Turvo**. Porto Alegre: SEMA. 348



p, 2005.

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](http://www.atlassocioeconomico.rs.gov.br/conteudo.asp?cod_menu_filho=791&cod_menu=790&tipo_menu=APRESENTACAO&cod_conteudo=1332)

SILVA, L. C. et al. Estoques de biomassa e carbono em Unidade de Conservação no bioma mata atlântica. **BIOFIX Scientific Journal**. v. 3. p. 243-251, 2018.

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](http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&catid=14&id=218)

SOCHER, L. G.; RODERJAN, C.V.; GALVÃO, F. Biomassa Aérea De Uma Floresta Ombrófila Mista Aluvial No Município De Araucária (PR). **Floresta**, v. 38, n. 2, pag. 245-252, 2008.

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

TERAKUNPISUT, J. et al. Carbon Sequestration Potential In Aboveground Biomass of Thong Pha Phum National Forest, Thailand. **Appl. Ecol. Environ. Res.** V. 5. Pag. 93–102, 2007.

TRAUTENMÜLLER, J. W. **Quantificação E Distribuição Do Estoque De Biomassa Acima Do Solo Em Floresta Estacional Decidual**. 2015. 92 p. (Dissertação de Mestrado).

UNFCCC – UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. Disponível em: [http://unfccc.int/ghg\\_data/ghg\\_data\\_unfccc/items/4146.php](http://unfccc.int/ghg_data/ghg_data_unfccc/items/4146.php)

VERES, Q. J. I. et al. Estimativas de biomassa e carbono em fragmento de floresta estacional semidecidual no Oeste do Paraná. **BIOFIX Scientific Journal**. v. 5. p. 23-31, 2020.

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

VOGEL, H. L. M. et al. Quantificação Da Biomassa Em Uma Floresta Estacional Decidual Em Itaara, Rs, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 4, 2006.

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**. v. 40, n. 95, p. 353-362, 2012.

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**. p. 153-173, 2007.