



**MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE
FLORESTA NACIONAL DO TAPAJÓS**

**Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica do Instituto Chico Mendes de
Conservação da Biodiversidade- PIBIC/ICMBio**

Relatório de Final

(2019-2020)

**Monitoramento da exportação de carbono das áreas em regime de manejo
florestal na Floresta Nacional do Tapajós.**

Nome: Osvaldo Junior Moraes Moreira

Orientador: Nilton Junior Lopes Rascon

Santarém - PA

Fevereiro/2020

RESUMO

O sensoriamento remoto por satélite, calibrado com observações de campo, é reconhecido atualmente como a ferramenta mais objetiva e com o melhor custo-benefício para a implementação de sistemas de monitoramento de carbono florestal completos, consistentes e precisos no espaço e no tempo. Aliado a isto, sabe-se que as florestas tropicais são responsáveis pela emissão de aproximadamente 20% de gases de efeito estufa no mundo. Por essa razão, este trabalho teve por objetivo desenvolver e implementar uma estratégia de mapeamento e monitoramento de estoques e fluxos de carbono florestal para as áreas de manejo da FLONA do Tapajós. A estimativa de biomassa das árvores foi calculada através da equação proposta por Chave et al (2005) para florestas tropicais úmidas, utilizando variáveis como DAP, altura total e densidade específica. Foram lançadas parcelas virtuais de 50m x 50m em uma área de 612,18 hectares para o estudo de biomassa acima do solo. A partir de imagens Landsat 8 foram gerados os índices de vegetação. As equações de regressão foram ajustadas através do programa CurveExpert 1.3 e a correlação entre biomassa acima do solo e índices de vegetação foi determinada pelo coeficiente de Pearson. Quanto à biomassa acima do solo, obteve-se o valor total de 30.471,34 Mg e média de 20,28 Mg por parcela. A correlação entre esta variável e os índices de vegetação foi considerada muito fraca e em alguns casos sem significância estatística. Considera-se que os resultados obtidos possam estar subestimados devido à mensuração de apenas parte da biomassa por parcela, ou seja, indivíduos florestais com DAP > 30 cm.

Palavras-Chave: Área de Manejo Florestal, Biomassa, Flona do Tapajós.

ABSTRACT

Remote sensing by satellite, calibrated with a field school, is currently recognized as the most objective and most cost-effective tool for implementing complete forest carbon monitoring systems, consistent and accurate in space and time. Allied to this, it is known that tropical forests are responsible for the emission of approximately 20% of greenhouse gases in the world. For this reason, this work aimed to develop and implement a strategy for mapping and monitoring forest carbon stocks and flows for the management areas of FLONA do Tapajós. The biomass estimate of the trees was provided through the equation proposed by Chave et al (2005) for tropical humid, using variables such as DBH, total height and specific density. Virtual plots of 50m x 50m were launched in an area of 612.18 hectares for the study of biomass above ground. Vegetation indexes were generated from Land 8 images. The regression equations were adjusted using the CurveExpert 1.3 program and the correlation between above-ground biomass and vegetation indices provided by Pearson's coefficient. As for the above-ground biomass, a total value of 30,471.34 Mg and an average of 20.28 Mg per plot are obtained. The correlation between this variable and the vegetation indexes was considered very weak and in some cases without statistical significance. It is considered that the results obtained may be underestimated due to the measurement of only part of the biomass per plot, that is, mandatory forestry with DBH > 30 cm.

Keywords: Forest Management Area, Biomass, Tapajos Flona.

3. LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo.....	7
Figura 2. DAP em centímetros nas parcelas da Área de Manejo Florestal da Flona Tapajós.....	12
Figura 3. Altura Total em metros nas parcelas da Área de Manejo Florestal da Flona Tapajós.....	13
Figura 4. Biomassa em Quilograma nas parcelas da Área de Manejo Florestal da Flona Tapajós.....	14
Figura 5. Diagrama de Dispersão de Biomassa Acima do Solo em relação ao Índice de Vegetação NDVI	15
Figura 6. Diagrama de Dispersão de Biomassa Acima do Solo em relação ao Índice de Vegetação DVI.....	16
Figura 7. Diagrama de Dispersão de Biomassa Acima do Solo em relação ao Índice de Vegetação OSAVI.....	17
Figura 8. Diagrama de Dispersão de Biomassa Acima do Solo em relação ao Índice de Vegetação SR.....	18
Figura 9. Diagrama de Dispersão de Biomassa Acima do Solo em relação ao Índice de Vegetação MSR.....	19
Figura 10. Diagrama de Dispersão de Biomassa Acima do Solo em relação ao Índice de Vegetação GEMI.....	20
Figura 11. Diagrama de Dispersão de Biomassa Acima do Solo em relação ao Índice de Vegetação MSAVI2.....	21
Figura 12. Diagrama de Dispersão de Biomassa Acima do Solo em relação ao Índice de Vegetação RDVI.....	22
Figura 13. Diagrama de Dispersão de Biomassa Acima do Solo em relação ao Índice de Vegetação SAVI.....	23
Figura 14. Diagrama de Dispersão de Biomassa Acima do Solo em relação ao Índice de Vegetação GNDVI.....	24
Figura 15. Diagrama de Dispersão de Biomassa Acima do Solo em relação ao Índice de Vegetação MSI.....	25
Figura 16. Diagrama de Dispersão de Biomassa Acima do Solo em relação ao Índice de Vegetação NDII.....	26
Figura 17. Diagrama de Dispersão de Biomassa Acima do Solo em relação ao Índice de Vegetação TVI.....	27

4. LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Bandas espectrais, índices de vegetação e métricas de textura extraídas das imagens Landsat 8.....	10
---	----

5. LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AGB** – Aboveground Biomass – Biomassa Acima Do Solo
- AMF** – Área de Manejo Florestal
- CAP** – Circunferência a Altura do Peito
- COOMFLONA** – Cooperativa Mista da FLONA do Tapajós
- CONAMA** – Conselho Nacional do Meio Ambiente
- DAP** – Diâmetro a Altura do Peito
- DEGRAD** – Sistema De Mapeamento de Degradação Florestal
- FLONA** – Floresta Nacional
- INPE** – Operados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- GEE** – Gases de Efeito Estufa
- ICMBio** – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
- MUT**– Mudança de Uso da Terra
- PRODES** - Projeto de Monitoramento do Desmatamento por Satélite
- REDD+** – Redução de Emissões de Desmatamento E Degradação Florestal
- UNFCCC** – Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
- UPA** – Unidade de Produção Anual
- UT** – Unidade de Trabalho

6. SUMÁRIO

7. INTRODUÇÃO	5
8. OBJETIVOS.....	6
8.1 Objetivo Geral	6
8.2 Objetivos Específicos	7
9. MATERIAL E MÉTODOS	7
9.1 Área de Estudo	7
9.2 Amostragem de Carbono Florestal <i>In Situ</i>	8
9.4 Pré Processamento das imagens (calibração radiométrica e correção atmosférica)	9
9.5. Geração dos Índices de Vegetação	9
9.6 Integração das Medidas de Campo com Dados de Sensoriamento Remoto	11
10. RESULTADOS	12
10.1 Variáveis Dendométricas	12
10.2 Correlação Biomassa Acima do Solo (AGB) x Índice de Vegetação	15
11. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES	28
12. RECOMENDAÇÕES PARA O MANEJO.....	29
13. AGRADECIMENTOS.....	29
15. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

7. INTRODUÇÃO

As florestas tropicais armazenam, aproximadamente, 50% da biomassa terrestre do planeta e contribuem com cerca de 20% das emissões antrópicas de CO² em âmbito global, como resultado de desmatamento e degradação florestal (FAO 2001; HOUGHTON et al., 2009; SAUGIER et al., 2001). O Brasil, por sua vez, figura entre os cinco maiores emissores do mundo, com aproximadamente 60% das suas emissões provenientes do setor de Mudança de Uso da Terra (MUT), principalmente oriundas de desmatamentos conduzidos na região amazônica (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2015). Desse modo, as florestas nacionais ganharam importância significativa nos esforços de mitigação climática desenhados no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), visando à Redução de Emissões de Desmatamento e Degradação Florestal (REDD+).

Em 2009, o Governo Federal reconheceu formalmente a ameaça imposta pelas mudanças climáticas e a importância dos biomas brasileiros nesse contexto, adotando pela primeira vez compromissos voluntários para a redução de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), conforme a Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009 (BRASIL, 2009). Dessa forma, a produção de inventários de emissões e remoções de GEE passou a ser fundamental tanto para cumprir as obrigações do país junto à UNFCCC, quanto para avaliar o status e a progressão das emissões ao longo do tempo, a fim de subsidiar políticas públicas que objetivem sua redução.

Os inventários de emissões e remoções de GEE no setor MUT requerem: (i) dados de área desmatada, degradada e em regeneração (i.e., dados de atividade), e (ii) estimativas do estoque de carbono contido na vegetação (i.e., fatores de emissão). Nas últimas décadas, o Brasil desenvolveu sistemas operacionais de monitoramento de áreas desmatadas e degradadas no bioma Amazônia, a exemplo do Projeto de Monitoramento do Desmatamento por Satélite (PRODES) e do sistema de mapeamento de degradação florestal (DEGRAD), operados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Entretanto, não se conhece com precisão o estoque de carbono presente nas áreas monitoradas (i.e., os fatores de emissão) (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2015).

Com o avanço de técnicas de sensoriamento remoto nas últimas décadas, as quais possibilitam medidas diretas da estrutura da vegetação, é possível se estimar estoques de carbono florestal do espaço com níveis de precisão nunca antes alcançados (BACCINI et al., 2012; GONÇALVES, 2014; TREUHAFT et al. 2015). O sensoriamento remoto por satélite, calibrado com observações de campo, é reconhecido atualmente como a ferramenta mais

objetiva e com o melhor custo-benefício para a implementação de sistemas de monitoramento de carbono florestal completos, consistentes e precisos no espaço e no tempo (HOUGHTON et al. 2010).

Entendido isto e considerando que as florestas tropicais são responsáveis por cerca de 20% das emissões globais de GEE, é importante destacar que a partir de 2003, iniciou-se na Floresta Nacional do Tapajós, em caráter experimental, o Projeto Piloto de Manejo Florestal Comunitário denominado “Projeto Ambé”, implantado pela Cooperativa Mista da Floresta Nacional do Tapajós (COOMFLONA) para as comunidades existentes nesta unidade de conservação. Desde então a cooperativa é a detentora de um Plano de Manejo Florestal Sustentável na Flona do tapajós, no qual usa as técnicas de Exploração de Impacto Reduzido (EIR). Desde 2003, parte da unidade de conservação vem sendo explorada em regime de manejo florestal, entretanto, observa-se que esta atividade vem demandando cada vez mais áreas para produção madeireira, chegando a 1500 hectares de área explorada por ano, o que corresponde, em média, a cerca de 36 mil metros cúbicos de madeira em tora.

Com o aumento crescente das áreas manejadas, surge também a preocupação do órgão gestor em manter a qualidade ambiental das áreas após a exploração. Observa-se, ainda sem comprovação científica, que a qualidade das áreas de pós-exploração decai à medida que se aumenta o tamanho das Unidades de Produções Anuais madeireira.

Nesse contexto que se insere a importância de estudar e entender como se dá a dinâmica das mudanças de estoque de carbono nas florestas tropicais em regime de manejo florestal madeireiro e acredita-se que uma forma de medir a qualidade do manejo florestal pós exploração, de áreas similares, pode ser por meio da quantificação de carbono exportado.

8. OBJETIVOS

8.1 Objetivo Geral

Desenvolver e implementar uma estratégia de mapeamento e monitoramento de estoque e fluxo de carbono florestal para as áreas sob regime de manejo florestal da Floresta Nacional do Tapajós, a partir da integração de imagens de sensores orbitais e um conjunto ímpar de observações de campo (i.e., inventário florestal 100%).

8.2 Objetivos Específicos

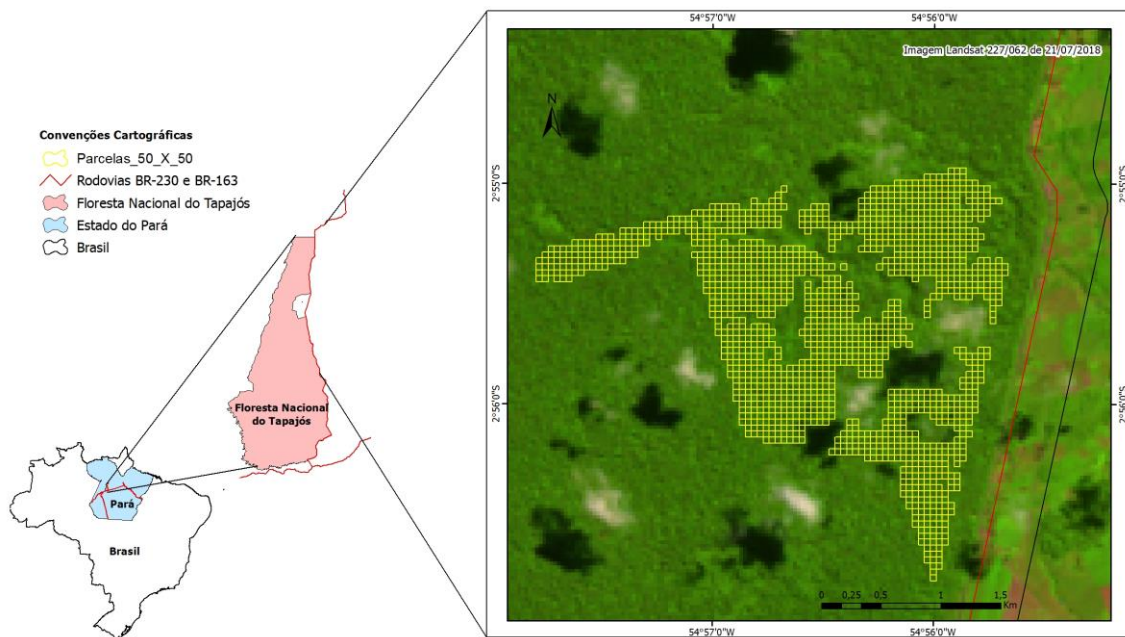
- Utilizar dados de inventário florestal 100% (pré-exploratórios) já realizados para calibrar modelos de estimativa de carbono a partir de dados Landsat;
- Validar os modelos gerados com dados independentes e empregá-los em conjunto com dados Landsat coletados para gerar mapas anuais de estoque de carbono nas áreas em regime de manejo florestal;
- Aplicar técnicas de análise de séries temporais sobre os mapas anuais resultantes de estoque de carbono, visando a estimativa de fluxos de carbono (emissões e remoções) em nível de pixel.

9. MATERIAL E MÉTODOS

9.1 Área de Estudo

A pesquisa foi desenvolvida na Unidade de Produção Anual (UPA) 13 da Área de Manejo Florestal (AMF) Samambaia, com, aproximadamente 612,18 hectares de extensão, subdividida em 10 unidades de trabalho (UT`s) de formato irregular. A UPA encontra-se localizada entre as coordenadas 3° 34' 36,608" S e 55° 4' 25,820" W na Floresta Nacional do Tapajós, situada no município de Belterra, Estado do Pará (figura 1).

Figura 1. Localização da UPA 13 da Área de Manejo Florestal Samambaia



9.2 Amostragem de Carbono Florestal *In Situ*

Durante o inventário 100% da UPA 13, todas as árvores tiveram mensurados os parâmetros: a) Circunferência à Altura do Peito (CAP) medido a 1,30m do solo, sendo incluídos os indivíduos com CAP maior ou igual 30 cm, e b) altura total. Posteriormente, os valores de circunferência foram transformados em Diâmetro à Altura do Peito (DAP). Obteve-se o total de 10.078 indivíduos distribuídos entre 86 espécies florestais. Os indivíduos amostrados foram reconhecidos em nível de família, gênero e espécie com a ajuda de um parataxonomista.

A partir do limite da UPA foram geradas parcelas virtuais de 50 x 50 (0,25 ha) com o auxílio do programa QGIS 2.18, totalizando 2.617 parcelas. Como todas as árvores do inventário 100% possuem coordenadas geográficas, foi possível separá-las e identificá-las em cada parcela.

A biomassa de cada árvore foi estimada a partir do modelo sugerido por Chave et al. (2005), ajustado para florestas tropicais úmidas, tendo como variáveis explicativas: DAP, densidade específica da madeira, altura total da espécie e tipologia florestal. A partir da soma de biomassa de cada árvore obteve-se a biomassa por parcela. Segundo os autores, o modelo utilizado tem alta confiabilidade pelo fato de utilizar dados sem precedentes, melhorando, desta forma, a qualidade da estimativa de biomassa de árvores acima do solo.

$$AGB_{est} = \exp(-2,977 + \ln(pD^2H))$$

Em que:

AGB = Aboveground Biomass ou Biomassa acima do solo (Kg)

P= Densidade (g/cm^3)

D= Diâmetro a Altura do Peito (cm)

H= Altura Total (m)

Para a aplicação da fórmula, foram utilizados os dados fornecidos pelo inventário 100%, além de pesquisas feitas na literatura e sites como o da Organização Mundial de Madeiras Tropicais (ITTO) para obtenção de informações a respeito da densidade específica de cada uma das 86 espécies florestais da área do estudo.

9.3. Sistematização das imagens de satélite

O tratamento e a análise do conjunto de dados e informações georreferenciadas da área de estudo (imagens OLI 227-062 de 21/07/2018) foram conduzidos no programa QGIS.

A imagem referente à cena 227/062 na qual está inserida a área de estudo, é disponibilizada pelo United States Geological Survey USGS no DATUM WGS1984 e projeção Universal Transversa de Mercator-UTM 21Norte. Portanto, foi necessário realizar a reprojeção dessas imagens, com o auxílio do software QGIS para o DATUM/Projeção WGS1984 UTM 21NSul.

9.4 Pré Processamento das imagens (calibração radiométrica e correção atmosférica)

Estudos que envolvem a quantificação de propriedades geofísicas ou biofísicas exigem que se faça a caracterização espectral de objetos, o que não pode ser feito mediante o emprego de Números Digitais, que são na realidade proporcionais a valores da radiância aparente. Nesses casos, os Números Digitais devem ser convertidos para fatores de reflectância de superfície (SANTOS et al, 2018). Entretanto, essa reflectância aparente apresenta diversos efeitos causados pela atmosfera, não correspondendo a reflectância real dos alvos, sendo necessária a eliminação dessas interferências atmosféricas.

Dessa forma, o processo de calibração radiométrica e a correção atmosférica foram realizadas sobre demanda diretamente no site USGS, no qual já foi possível fazer o download da imagem com as devidas correções.

9.5. Geração dos Índices de Vegetação

Posteriores aos processos de correção das imagens foram gerados os índices de vegetação (Tabela 1), os quais são obtidos através dos valores de radiância refletida nas bandas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo, explorando o contraste entre estas duas regiões em relação à radiância refletida pela vegetação (SOUSA & PONZONI, 1998).

Tabela 1. Bandas espectrais, índices de vegetação e métricas de textura extraídas das imagens Landsat.

Parâmetros	Equação
Bandas individuais*	B1 (0,45 a 0,52 μm); B2 (0,52 a 0,60 μm); B3 (0,63 a 0,69 μm); B4 (0,76 a 0,90 μm); B5 (1,55 a 1,75 μm); B7 (2,08 a 2,35 μm)

Índices de vegetação (IVs)	Referência
$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$	Rouse et al., (1974)
$DVI = NIR - Red$	Tucker c. (1979)
$RDVI = \frac{(NIR - Red)}{\sqrt{NIR + Red}}$	Roujean, j. e f. breon (1995)
$NDII = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)}$	Hardisky, m et al., (1983)
$GNDVI = \frac{(NIR - Green)}{(NIR + Green)}$	Gitelson, a et al., (1998)
$TVI = \sqrt{NDVI + 0,5}$	Rouse et al., (1973)
$SAVI = \frac{1,5 * (NIR - Red)}{(NIR + Red + 0,5)}$	Huete, (1988)
$MSAVI2 = \frac{2 * NIR + 1 - \sqrt{(2 * NIR + 1)^2 - 8(NIR - Red)}}{2}$	Qi et al., (1994)
$OSAVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red + 0,16)}$	Rondeaux et al., (1996)
$SR = \frac{NIR}{Red}$	Rascimento, g et al., (1968)
$MSR = \frac{(\frac{NIR}{Red}) - 1}{(\sqrt{\frac{NIR}{Red}}) + 1}$	Chen, j (1996)
$GEMI = eta(1 - 0,25 * eta) - \frac{Red - 0,125}{1 - Red}$	Pinty et al., (1992).
$MSI = \frac{Banda 7}{Banda 2}$	Hunt (1989)
Métricas de textura	
Média	$\sum_{ij=0}^{N-1} i P_{ij}$
Variância	$\frac{\sum_{ij}(x_{ij} - \mu)^2}{n - 1}$
Homogeneidade	$\sum_{ij=0}^{N-1} i \frac{P_{ij}}{1 + (i - j)^2}$
Contraste	$\sum_{ij=0}^{N-1} i P_{ij}^2 (i - j)^2$

Dissimilaridade	$\sum_{ij=0}^{N-1} i P_{ij}^2 i - j $
Correlação	$\sum_{ij=0}^{N-1} i P_{ij}^2 \left[\frac{(i - \mu_i)(i - \mu_j)}{(\sigma_i^2)(\sigma_{ij}^2)} \right]$
Segundo momento	$\sum_{ij=0}^{N-1} i P_{ij}^2$
Entropia	$\sum_{ij=0}^{N-1} i P_{ij}^2 (-\ln P_{ij})$

*Bandas referentes aos sensores TM e ETM+; NIR = Infravermelho próximo; Red = Vermelho; SWIR = Infravermelho médio; Green = Verde.

Quanto às equações de regressão, estas foram ajustadas com auxílio do programa CurveExpert 1.3, ao passo que a correlação entre os índices de vegetação e biomassa acima do solo foi determinada através do coeficiente de Pearson (r) em que, segundo Devore (2006): r = 0,00 a 0,19 (correlação bem fraca); r = 0,20 a 0,39 (correlação fraca); r = 0,40 a 0,69 (correlação moderada); r = 0,70 a 0,89 (correlação forte) e r = 0,90 a 1,00 (correlação muito forte). O nível de significância adotado foi de $p < 0,05$.

9.6 Integração das Medidas de Campo com Dados de Sensoriamento Remoto

De posse das parcelas com dados de biomassa georreferenciadas, foi necessário retirar todas as parcelas que ficaram nas bordas, ou seja, no limite da UPA, que não possuíam o tamanho mínimo de 0,25 hectares. Foi retirado também do conjunto de dados as parcelas nas quais não foram inventariadas nenhuma árvore, bem como aquelas parcelas que ficaram sobre efeitos de nuvens e sombras, dado que as informações espectrais verdadeiras da parcela foram perdidas. Após esse procedimento, do total de 2.617 restaram 1.502 parcelas, efetivamente avaliadas. Foram feitos cálculos dendométricos para cada parcela como: número de árvores, média de altura total e comercial, média de DAP e somatório da biomassa.

10. RESULTADOS

10.1 Variáveis Dendométricas

O DAP apresentou uma média de 66,87 cm, com valor mínimo de 33,75cm e máximo de 193,53cm na área de manejo florestal do presente estudo (Figura 2).

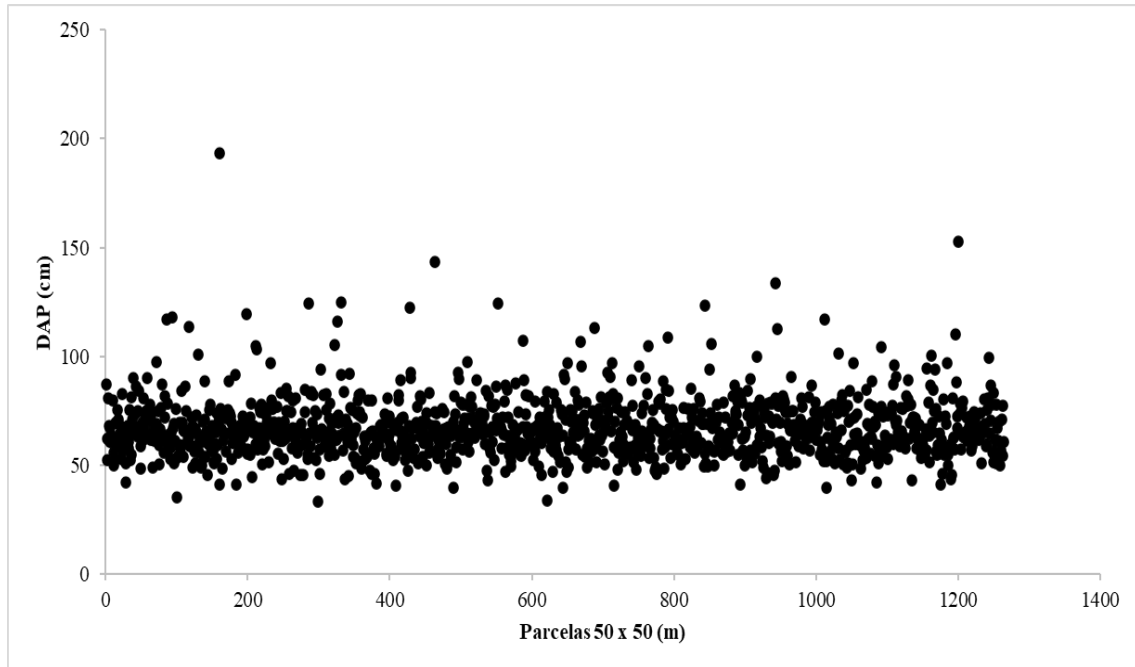


Figura 2. DAP em centímetros nas parcelas da Área de Manejo Florestal da Flona Tapajós.

No que diz a respeito à altura total, a área teve como altura máxima o valor de 36,8m e altura mínima o valor de 5,75, tendo como média por parcela de 21,38m (Figura 3).

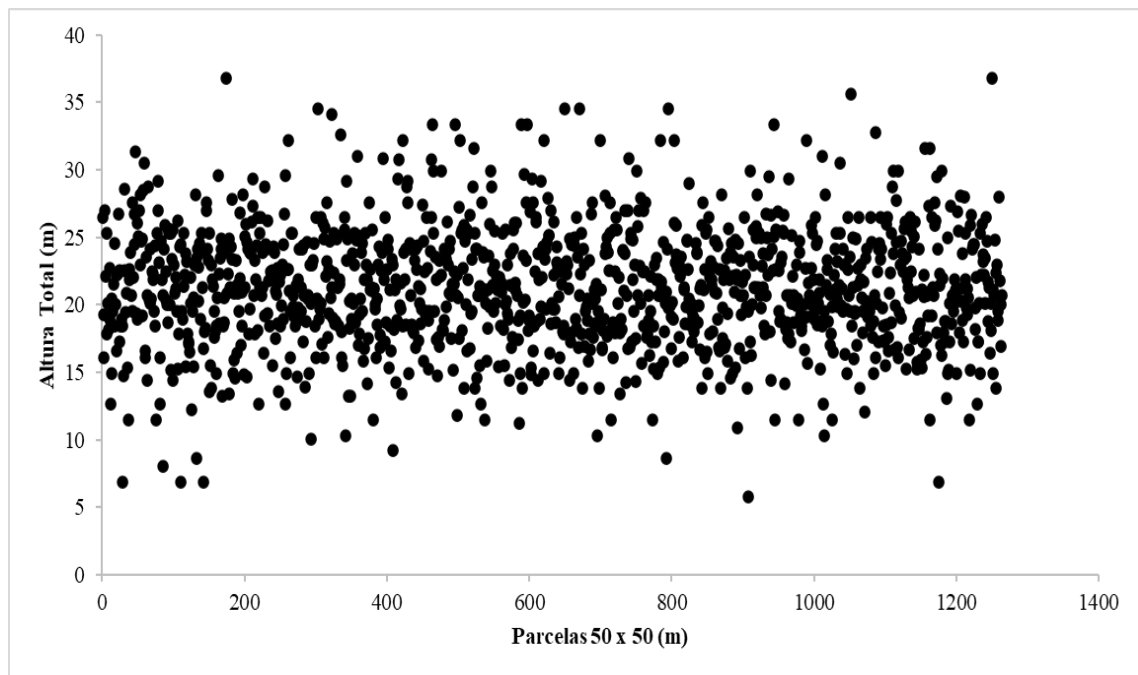


Figura 3. Altura Total em metros nas parcelas da Área de Manejo Florestal da Flona Tapajós.

O estudo apresentou como valor total de biomassa 30.471,34 Megagrama (Mg), o valor médio de biomassa para as 1502 parcelas foi de 20,28 Mg, tendo como parcela de maior valor o total de 77,16 Mg e menor valor igual a 0,25 Mg (Figura 4).

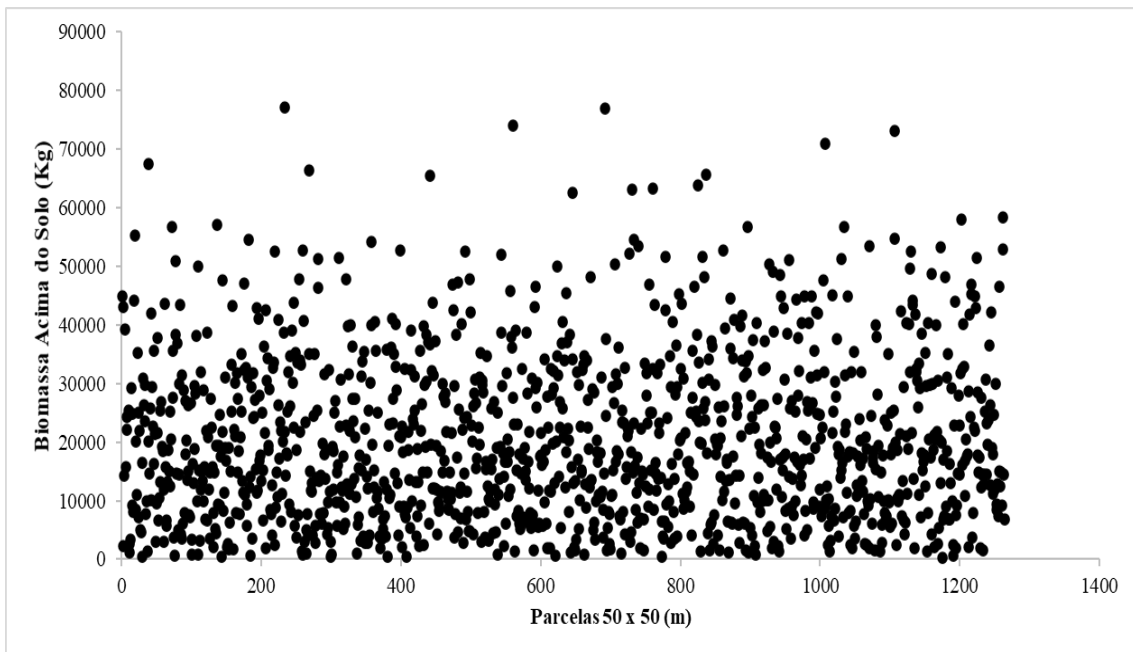


Figura 4. Biomassa em Quilograma nas parcelas da Área de Manejo Florestal da Flona Tapajós.

10.2 Correlação Biomassa Acima do Solo (AGB) x Índice de Vegetação

O NDVI é uma medida de vegetação saudável e verde. Geralmente este índice apresenta melhor correspondência com as características da vegetação (TUCKER, 1979). Comumente o intervalo para vegetação verde é de 0,2 a 0,8 (SOUSA & PONZONI, 1998; HARRIS GEOSPATIAL, 2020). No presente trabalho, o valor encontrado para a correlação entre biomassa acima do solo e o índice NDVI foi de $r = -0,005$, o que condiz com uma correlação muito fraca, e não obteve significância estatística (Figura 5).

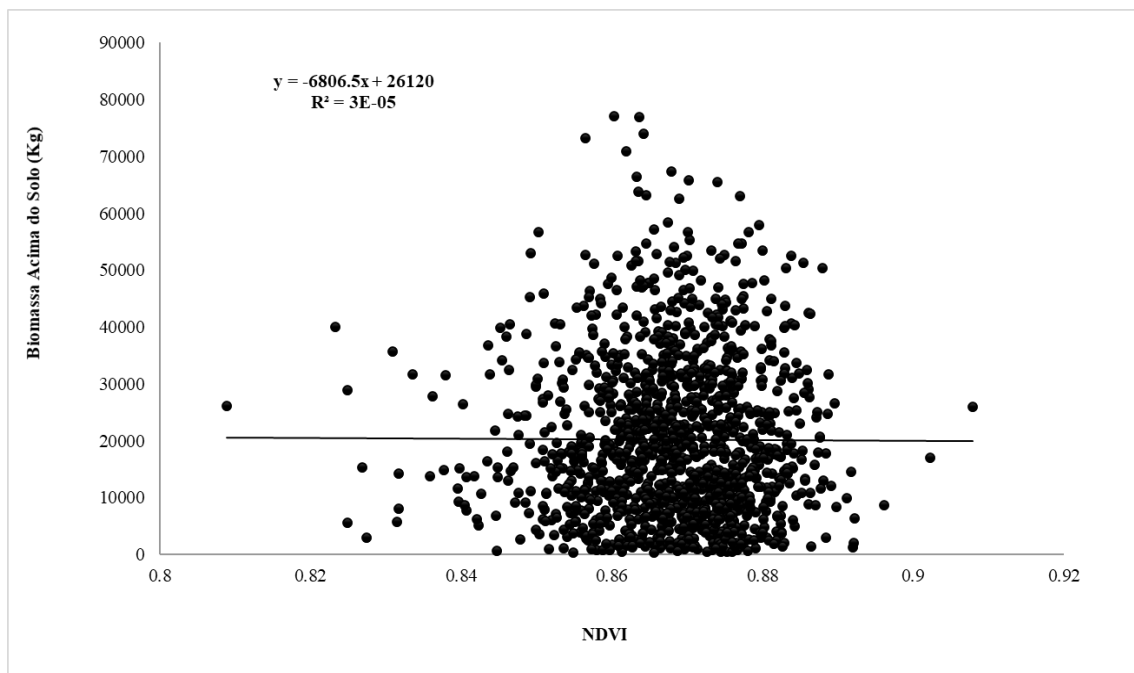


Figura5. Diagrama de Dispersão de Biomassa Acima do Solo em relação ao Índice de Vegetação NDVI

O DVI é um índice ortogonal que diferencia solo e vegetação, no entanto não distingue refletância e brilho causados pelos efeitos atmosféricos e/ou sombras (HARRIS GEOSPATIAL, 2020). A correlação de AGB e este índice apresentou valor igual a $r = 0,06$ e assim como o NDVI, a correlação foi considerada muito fraca (Figura 6).

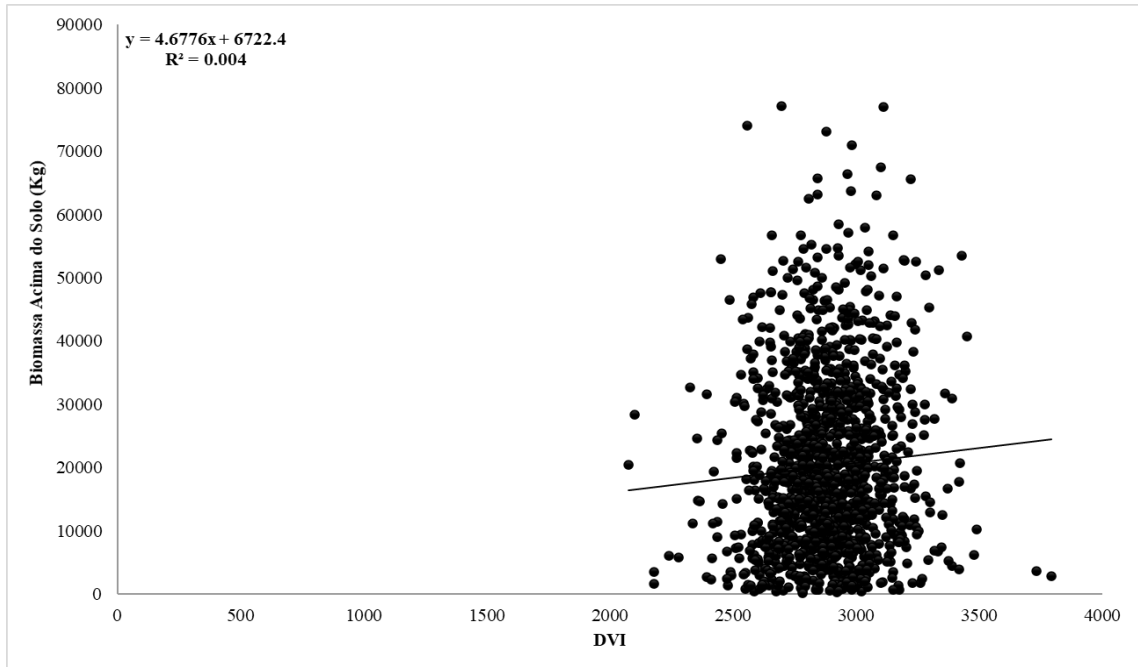


Figura 6. Diagrama de Dispersão de Biomassa Acima do Solo em relação ao Índice de Vegetação DVI

O OSAVI é baseado no SAVI, entretanto fornece maior variação do solo que o SAVI para baixa cobertura vegetal, ao passo que demonstra maior sensibilidade à cobertura vegetal superior à 50%. Além disso, utiliza um valor padrão de 0,16 como fator de ajuste de fundo do dossel (HARRIS GEOSPATIAL, 2020). Para este índice a correlação com a AGB gerou um valor igual a $r = -0,005$, que também denota correlação muito fraca (Figura 7).

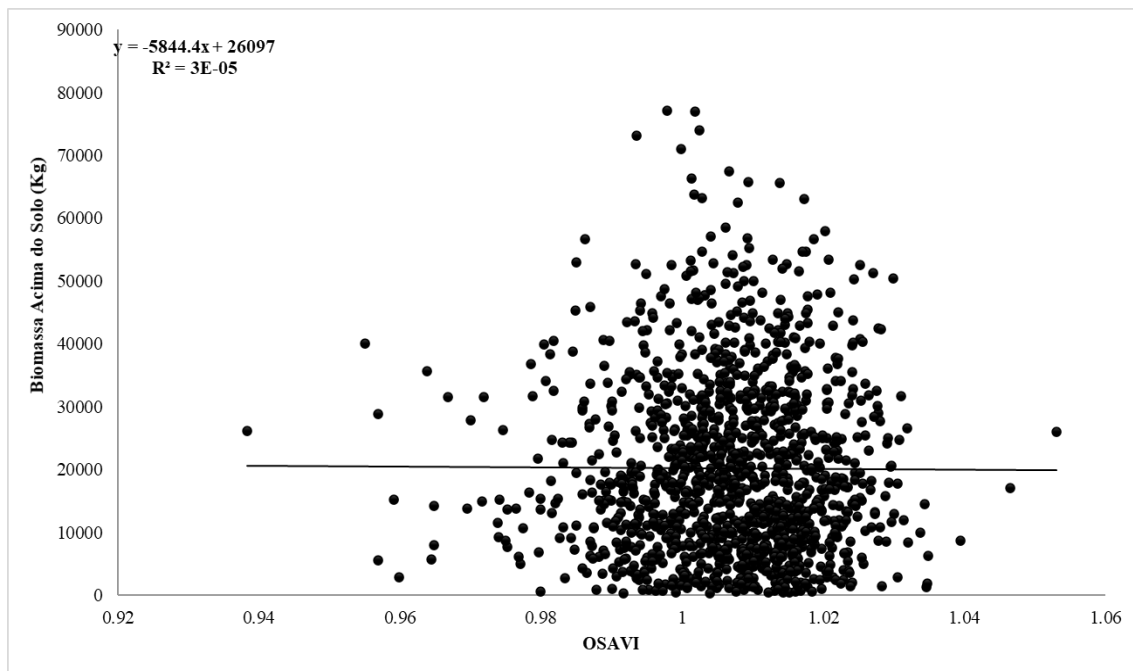


Figura 7. Diagrama de Dispersão de Biomassa Acima do Solo em relação ao Índice de Vegetação OSAVI

O SR é um índice simples, porém exibe boa relação com características das florestas (TURNER et al., 1999). Este índice é uma razão entre o comprimento de onda com maior refletância para a vegetação e o comprimento de onda da absorção mais profunda da clorofila (HARRIS GEOSPATIAL, 2020). Neste caso, obteve-se o valor de $r = -0,009$, correlação classificada como muito fraca (Figura 8).

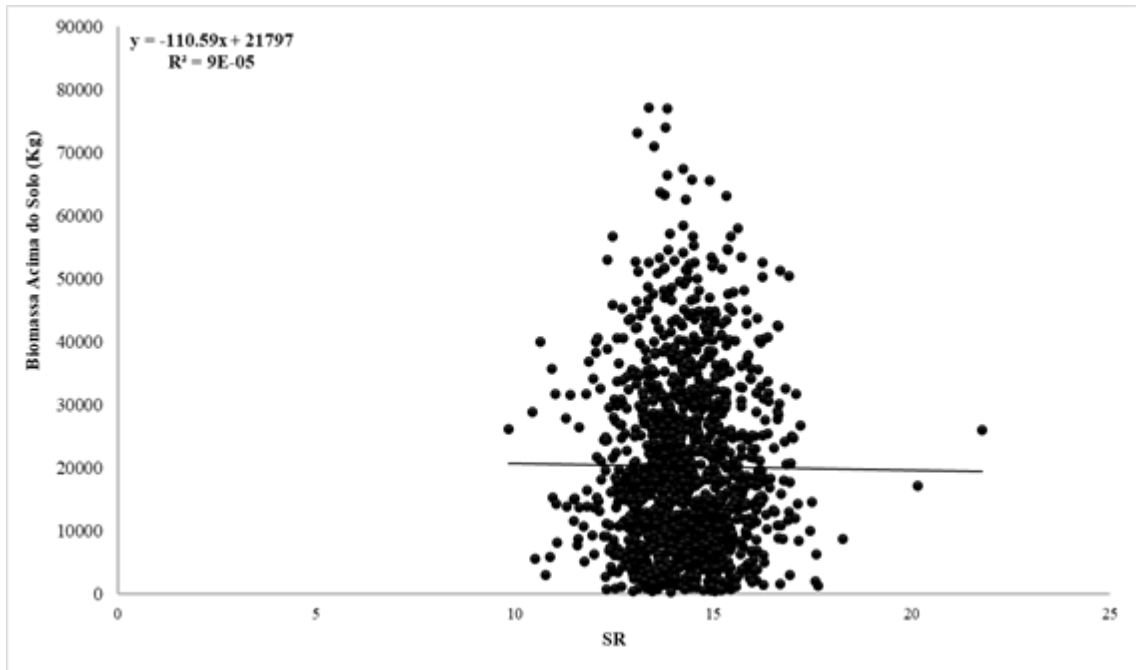


Figura 8. Diagrama de Dispersão de Biomassa Acima do Solo em relação ao Índice de Vegetação SR

O MSR é considerado uma melhoria do RDVI, combinado a Taxa Simples em sua fórmula. Este índice possui maior sensibilidade aos parâmetros biofísicos da vegetação (HARRIS GEOSPATIAL, 2020). A correlação entre este índice e a AGB foi muito fraca, apresentando o valor de $r = -0,008$ (Figura 9).

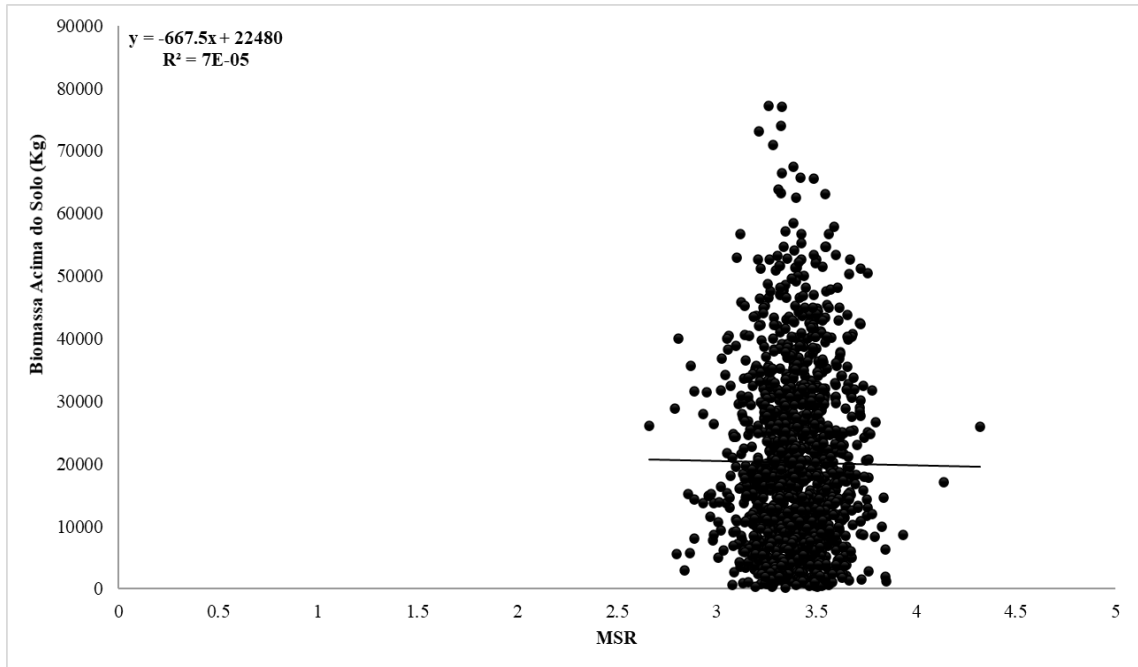


Figura 9. Diagrama de Dispersão de Biomassa Acima do Solo em relação ao Índice de Vegetação MSR

O GEMI é um índice não linear de vegetação, que também visa minimizar os efeitos atmosféricos em estudos de monitoramento ambiental global. É um índice não recomendado para áreas de vegetação dispersa ou moderadamente densa, pois é afetado diretamente pelo solo nu (HARRIS GEOSPATIAL, 2020). No caso deste índice, observou-se um valor igual a $r = -0,05$, o que também denota correlação muito fraca com a AGB (figura 10).

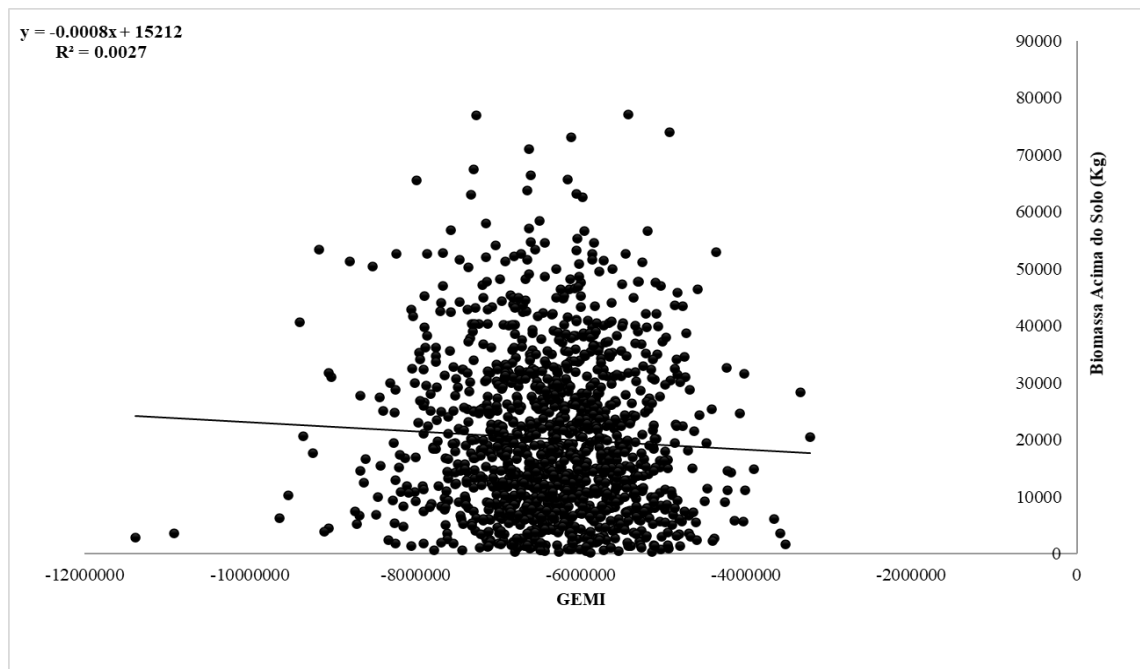


Figura 10. Diagrama de Dispersão de Biomassa Acima do Solo em relação ao Índice de Vegetação GEMI

O MSAVI2 é um aprimoramento do SAVI, mas utiliza um método indutivo que não usa um valor constante de L para destacar uma vegetação saudável. Este índice é responsável por reduzir o ruído do solo e aumentar a faixa dinâmica do sinal de vegetação (HARRIS GEOSPATIAL, 2020). A correlação deste índice e a AGB foi muito fraca, com o valor de $r = -0,06$ (Figura 11).

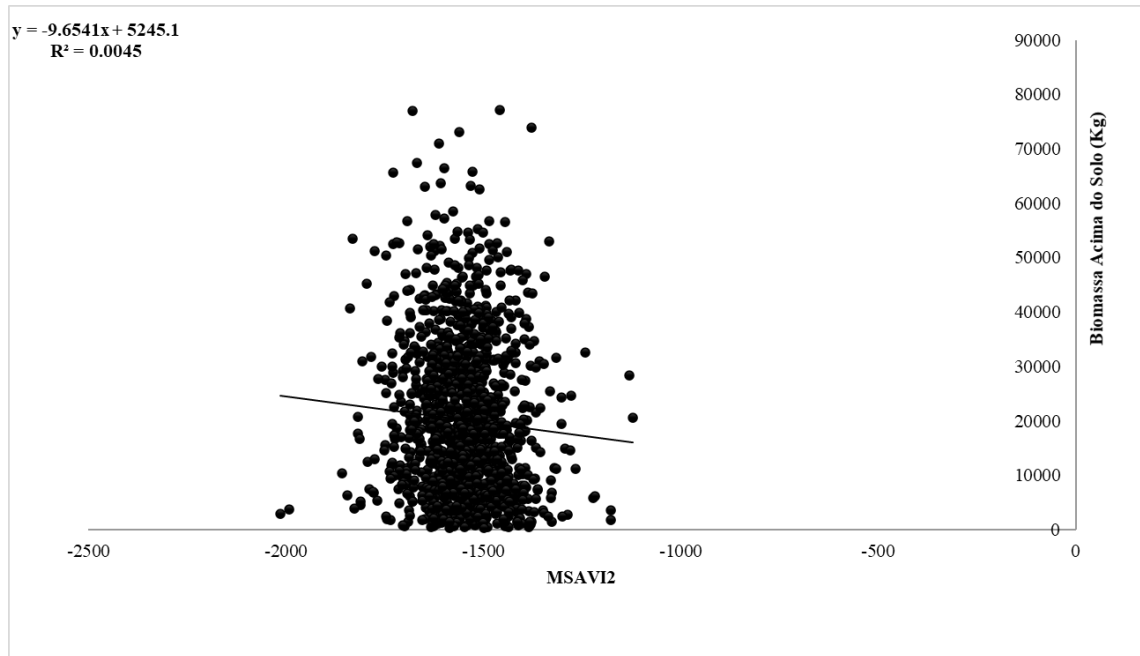


Figura 11. Diagrama de Dispersão de Biomassa Acima do Solo em relação ao Índice de Vegetação MSAVI2

O RDVI se baseia na diferença entre o comprimento de onda no infravermelho próximo e o vermelho, junto com o NDVI para destacar a vegetação saudável. Não se afeta pelos efeitos da geometria de visualização do solo e do sol (HARRIS GEOSPATIAL, 2020). A correlação deste índice com a AGB foi igual a $r = 0,05$, indicando uma correlação muito fraca (Figura 12).

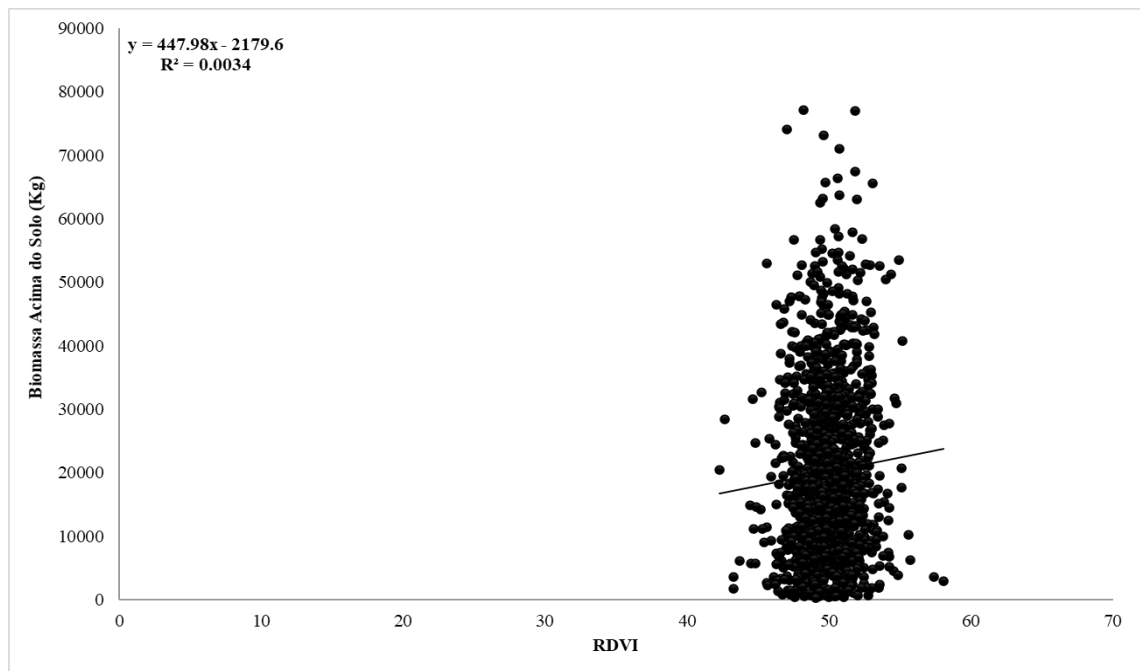


Figura 12. Diagrama de Dispersão de Biomassa Acima do Solo em relação ao Índice de Vegetação RDVI

O SAVI é um índice que considera a resposta do solo, que pode ser dominante sobre a resposta da vegetação, dependendo da percentagem de cobertura. Ele se baseia no princípio de que a curva de vegetação tende a se aproximar da curva de solo no caso de baixas densidades de vegetação, passando por uma mistura de respostas espectrais para densidades médias e quase nenhuma influência do solo para densidades altas de vegetação (SOUSA & PONZONI, 1998). A correlação deste índice e a AGB teve como valor $r = -0,005$, indicando uma correlação muito fraca e sem significância estatística (Figura 13).

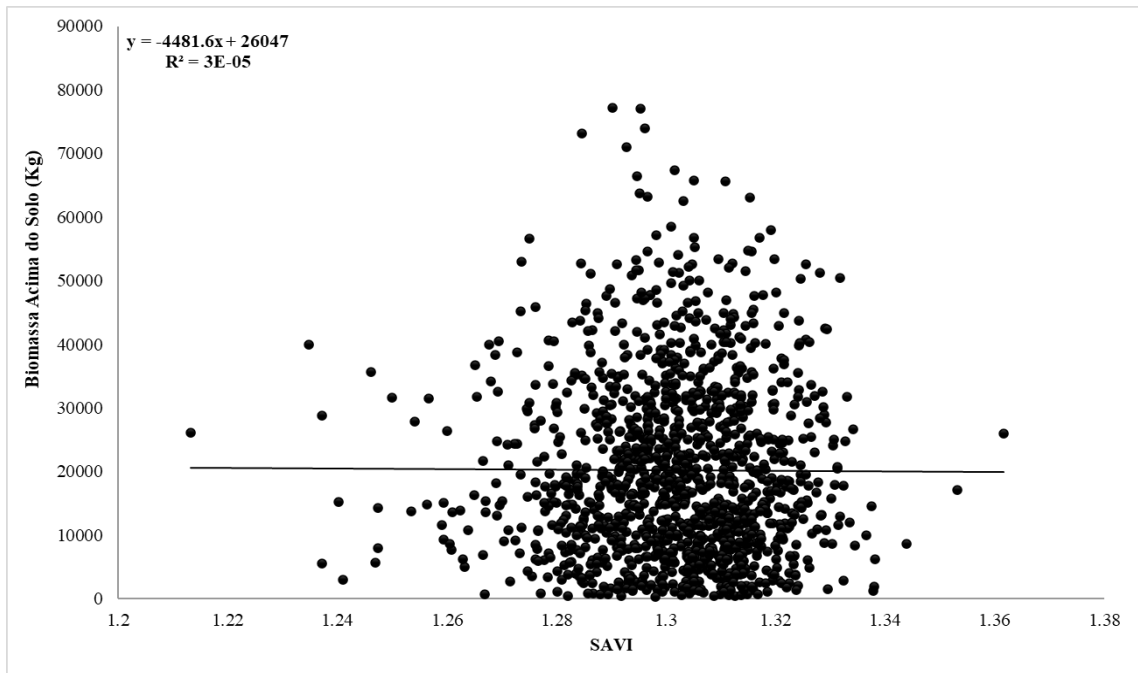


Figura 13. Diagrama de Dispersão de Biomassa Acima do Solo em relação ao Índice de Vegetação SAVI

O GNDVI mede o espectro verde de 540 a 570 nm e não o espectro vermelho como mede o NDVI. Isso significa que o GNDVI é mais sensível à concentração de clorofila (HARRIS GEOSPATIAL, 2020). A correlação deste índice com a AGB foi igual a $r = 0,08$, uma correlação muito fraca (Figura 14).

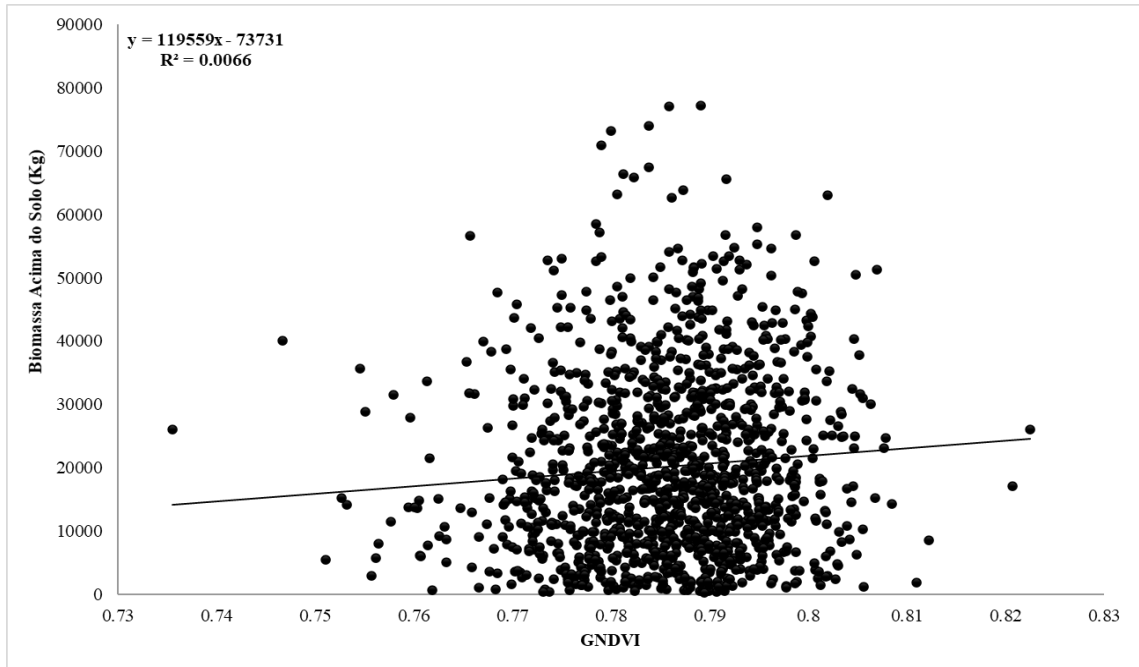


Figura 14. Diagrama de Dispersão de Biomassa Acima do Solo em relação ao Índice de Vegetação GNDVI

O MSI é uma medida de refletância sensível ao aumento do conteúdo de água na folha. Este índice é invertido em relação aos outros índices de vegetação de água, no qual valores mais altos indicam maior estresse hídrico e menor teor de água. A correlação MSI x AGB foi muito fraca, apresentando um valor de $r = -0,06$ (Figura 15).

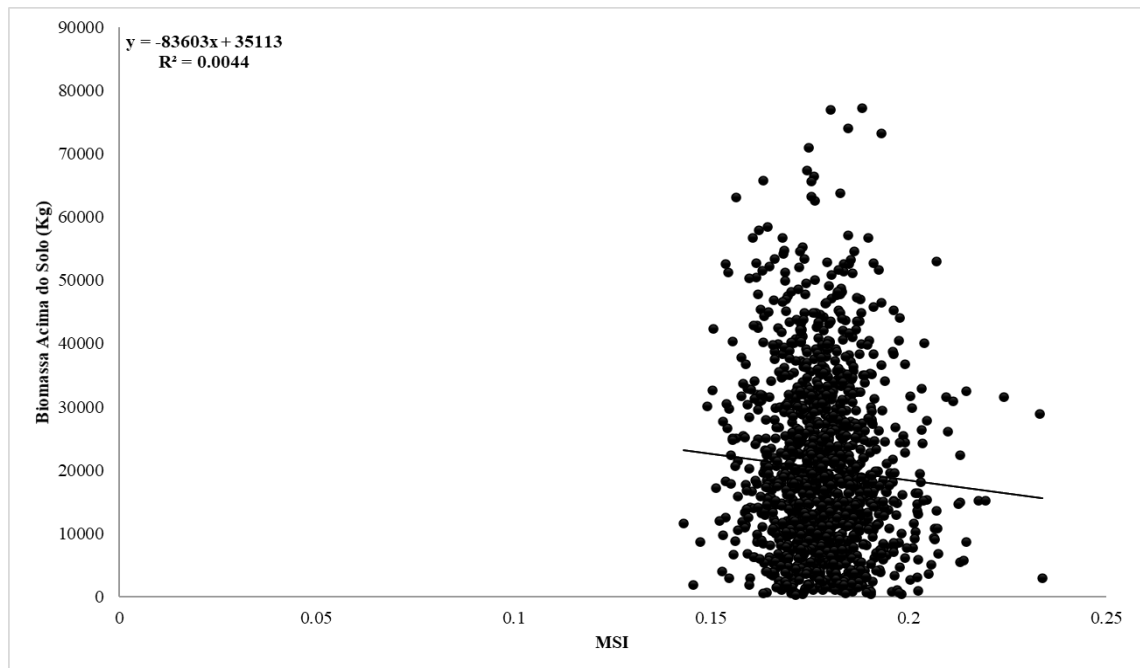


Figura 15. Diagrama de Dispersão de Biomassa Acima do Solo em relação ao Índice de Vegetação MSI

O NDII é uma medida de refletância sensível às mudanças no conteúdo de água das copas das plantas. O índice usa uma formulação de diferença normalizada em vez de uma razão simples, e os valores do índice aumentam proporcionalmente ao aumento do conteúdo de água. Este índice obteve uma correlação muito fraca com a AGB, com o valor $r = 0,06$ (Figura 16).

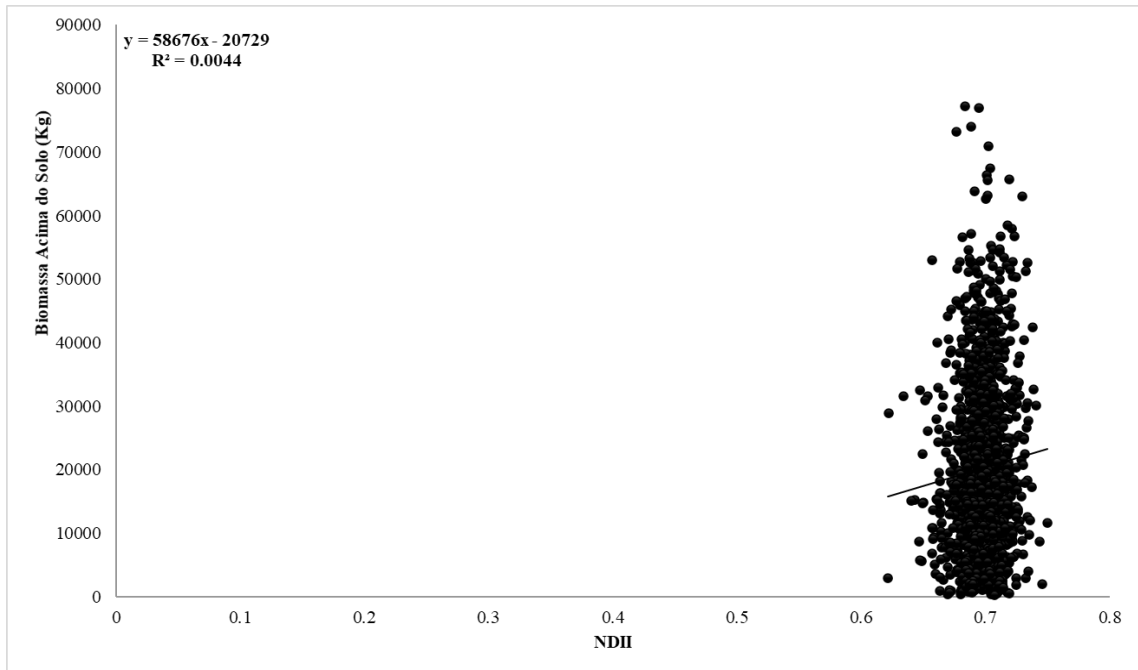


Figura 16. Diagrama de Dispersão de Biomassa Acima do Solo em relação ao Índice de Vegetação NDII

O *Transformed Vegetation Index* (TVI) é um índice utilizado em locais onde a densidade da vegetação é baixa e a diferença normalizada pode resultar em valores negativos. É um índice que foi baseado no NDVI (ROUSE et al.,1973). A correlação deste índice x AGB resultou em uma correlação muito fraca, com o valor de $r = -0,004$, não apresentando significância estatística. (Figura 17).

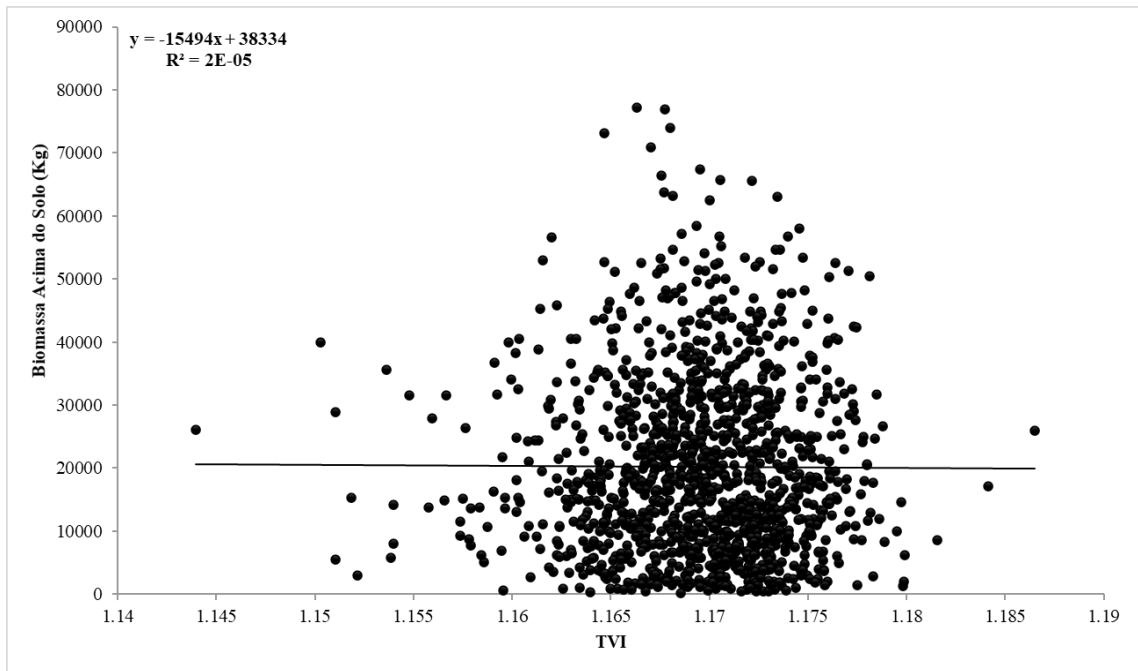


Figura 17. Diagrama de Dispersão de Biomassa Acima do Solo em relação ao Índice de Vegetação TVI

11. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Por se tratar de monitoramento de uma área de manejo florestal, o presente trabalho considerou apenas árvores com DAP acima de 30cm, portanto, os resultados aqui apresentados são considerados subestimados. Esta sentença se explica através do estudo de Vianna et al (2010) em trabalho realizado numa fazenda, no município de Portel - PA, onde os autores afirmaram que, indivíduos com DAP inferior a 10cm e cipós representam 19% da biomassa total acima do solo, além de reforçarem que a área basal tem forte influência sobre o estoque de carbono.

No trabalho de Santos et al (2008) em comparativo entre duas áreas situadas na Flona Tapajós, os autores relatam que mesmo com grande quantidade de indivíduos nas classes de $10 \leq \text{DAP} \leq 30$ cm, os indivíduos nas classes de $30 \leq \text{DAP} \leq 60$ cm e $\text{DAP} \geq 90$ cm concentram a maior quantidade de biomassa. No presente trabalho, observou-se que a média de DAP nas parcelas foi igual a 66,87cm, o que evidencia uma concentração de biomassa encontrada nas classes de DAP mais alta na área de manejo Samambaia da Flona tapajós.

Ainda de acordo com nossa estimativa, a média da biomassa acima do solo por hectare foi de 81,14 Mg.ha⁻¹, abaixo do valor encontrado por Vianna et al (2010) que registraram um valor de 188,54 Mg.ha⁻¹, considerando indivíduos vivos, incluindo palmeiras e cipós com DAP acima de 10cm. Resultado semelhante foi encontrado no trabalho de Treuhaft et al (2017) que verificou o valor de 189 Mg.ha⁻¹ em sua pesquisa realizada na Flona do Tapajós, utilizando 78 parcelas de 50m x 50m e imagem por radar TanDEM-X para suas análises. Ressalta-se que a metodologia utilizada no presente trabalho foi diferente da adotada pelos autores em suas pesquisas, o que pode explicar a diferença de valores encontrados.

Quanto às equações de regressão geradas com o auxílio do curve expert 1.3 todos os resultados obtiveram correlação muito fraca de acordo com a classificação literária e os Índices: NDVI, OSAVI, SAVI e TVI não obtiveram significância estatística.

A média de biomassa por parcela encontrado no presente estudo foi de cerca de 43% (81,14 Mg.ha⁻¹) quando comparada ao trabalho desenvolvido por Treuhaft et al (2017) que verificou o valor de 189 Mg.ha⁻¹, essa diferença é explicado devido as limitações metodológicas, dado que a pesquisa usou dados dendométricos apenas dos componentes florestais de valor comercial com DAP acima de 30cm, deixando de fora um volume elevado de biomassa, situados na classes de diâmetro abaixo de 30 cm de DAP, o que pode ter interferido nos resultados de nossa pesquisa, principalmente nos resultados das correlações.

Este resultado também foi contrário à afirmação de Coltri et al (2009) que ao utilizarem equações não desenvolvidas para o Brasil destacaram que estas poderiam subestimar ou superestimar a biomassa calculada por não considera as condições edafoclimáticas locais. No entanto, a equação desenvolvida por Chave et al. (2005) e utilizada no presente trabalho, considera tais condições e, mesmo assim, não alcançou os resultados esperados.

Considerando os resultados obtidos conclui-se pela impossibilidade de continuação do presente trabalho, uma vez que não seria confiável ajustar os modelos estatísticos de predição de carbono com os dados do inventários 100% oriundos do Plano de Manejo Florestal Sustentável, ao passo que recomenda-se que as simulações sejam refeita usando os dados medidos nas parcelas permanentes de monitoramento, uma vez que incluem informações dendrométricas abaixo do DAP de 30 cm.

12. RECOMENDAÇÕES PARA O MANEJO

O Inventário Florestal 100% realizado no Manejo Florestal coleta informações extremamente importantes como por exemplo o estoque de madeira existente para fins de exploração (espécies a explorar, tratamentos silviculturais etc.), como também projeções econômicas (despesas, receitas, mercados etc.). Portanto, é uma etapa que deve ser realizada com a maior atenção e cuidado no levantamento das informações em campo. Além disso, deve-se buscar sempre corrigir ou eliminar o erro sistemático na medição da altura das árvores nos Inventários Florestais 100%, dado que essa medida interfere significativamente no volume e nas demais predições importantes para o planejamento da atividade. Algumas inconsistências observadas nos dados de altura do inventário também podem ter influenciado na correlação dos dados dendrométricos com as informações dos índices de vegetação.

13. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBIO), ao Centro de Integração Empresa-Escola (CIEE) e ao Centro Nacional de Pesquisas (CNPq) pelo suporte e financiamento para o desenvolvimento deste trabalho. Aos meus Orientadores Nilton Junior Lopes Rascon e Karla Mayara Almada Gomes pelo auxílio e paciência durante o decorrer deste período, e a todas as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

15. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BACCINI, A.; GOETZ, S.J.; WALKER, W.; LAPORTE, N. T.; SUN, M.; SULLA-MENASHE, D.; HACKLER, J.; BECK, P.S.A.; DUBAYAH, R.; FRIEDL, M.A.; SAMANTA, S.; HOUGHTON, R.A.. Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. **Nature Climate Change**, 2012. DOI: 10.1038/NCLIMATE1354.

BRASIL. **Decreto Federal 5.975, de 30 de novembro de 2006**. Regulamenta os arts. 12, parte final, 15, 16, 19, 20 e 21 da Lei nº4.771, de 15 de setembro de 1965, o art. 40, inciso III, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, o art. 20 da Lei nº 10.650, de 16 de abril de 2003, altera e acrescenta dispositivos aos Decretos nº 3.179, de 21 de setembro de 1999, e 3.420, de 20 de abril de 2000, e dá outras providências. MMA, 2006.

BRASIL. **Instrução Normativa 04, de 11 de dezembro de 2006**. Dispõe sobre a Autorização Prévia à Análise Técnica de Plano de Manejo Florestal Sustentável-APAT, e dá outras providências. MMA, 2006.

BRASIL. **Instrução Normativa 05, de 11 de dezembro de 2006**. Dispõe sobre procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de Planos de Manejo Florestal Sustentável-PMFS nas florestas primitivas e suas formas de sucessão na Amazônia Legal, e dá outras providências. MMA, 2006.

BRASIL. **Resolução 406, de 02/02/2009**. Estabelece parâmetros técnicos a serem adotados na elaboração, apresentação, avaliação técnica e execução de Plano de Manejo Florestal Sustentável-PMFS com fins madeireiros, para florestas nativas e suas formas de sucessão no bioma Amazônia. MMA, 2009.

CHAVE, J.; ANDALO, C.; BROWN, S.; CAIRNS, M. A.; CHAMBERS, J. Q.; EAMUS, D.; FOLSTER, H.; FROMARD, F.; HIGUCHI, N.; KIRA, T.; LESCURE, J. P.; NELSON, B. W.; OGAWA, H.; PUIG, H.; RIÉRA, B.; YAMAKURA, T.; Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Ecosystem Ecology**, São Paulo, v. 145, n. 87, p. 87-99, 2005.

COLTRI, P.P.; RAMIREZ, G. M.; WALTER, M. K. C.; JUNIOR, J. Z.; PINTO, H. S.; NASCIMENTO, C. R.; GONÇALVES, R. R. V.. Utilização de índices de vegetação para estimativas não destrutivas da biomassa, estoque e sequestro de carbono do Cafeeiro Arábica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. **Anais**. São José dos Campos: INPE, p. 121 – 128, 2009.

DEVORE, J. L.. **Probabilidade e estatística: para engenharia e ciências**. Thomson Pioneira, p. 706, São Paulo, 2006.

GONÇALVES, F. G.. **Vertical Structure and Aboveground Biomass of Tropical Forests from LiDAR Remote Sensing**. Dissertation - Oregon State University, 2014.

HOUGHTON, R.A.; HALL, F.; GOETZ, S. J.. Importance of biomass in the global carbon cycle. **Journal of Geophysical Research**, v.113, p. 1-13, 2009.

HOUGHTON, R.A., GREENGLASS, N., BACCINI, A., CATTANEO, A., GOETZ, S., KELLNDORFER, J., LAPORTE, N., & WALKER, W. The role of science in reducing emissions from deforestation and forest degradation (REDD). **Carbon Management**, v.1, p.253-259, 2010

<https://www.harrisgeospatial.com/docs/BroadbandGreenness.html#Renormal>. Acessado em: 11/08/2020.

HUETE, A.R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of the Environment**, v.25, p.295-309, 1988. DOI: 10.1016/0034-4257(88)90106-X.

HUETE, A.R.; WARRICK, A.R.. Assessment of vegetation and soil water regimes in partial canopies with optical remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v.32, p.155-167, 1990. DOI: 10.1016/0034-4257(90)90015-E.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. Documento síntese [recurso eletrônico]: **Análise das emissões de GEE no Brasil (1970-2013) e suas implicações para políticas públicas / Governos Locais pela Sustentabilidade (ICLEI)** – São Paulo, 52 p., 2015.

ROUSE, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: **EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1. SYMPOSIUM**, 3., 1973, Washington. Proceedings... Washington: NASA, v.1, p.309-317, 1973.

SANTOS, F. G.; CAMARGO, P. B. de; OLIVEIRA JUNIOR, R. C. de.. ESTOQUE E DINÂMICA DE BIOMASSA ARBÓREA EM FLORESTA OMBRÓFILA Densa NA FLONA TAPAJÓS: AMAZÔNIA ORIENTAL. **Ciência Florestal**, [S.l.], v. 28, n. 3, p. 1049-1059, out. 2018.

SAUGIER, B.; ROY, J.; MOONEY, H.A.. Estimations of global terrestrial productivity: Converging toward a single number, in *Terrestrial Global Productivity*, edited by J. Roy, B. Saugier, and H. A. Mooney, pp. 543–557, Academic, San Diego, CA. 2001.

SOUSA, C. L.; PONZONI, F. J.. Avaliação de índices de vegetação e de bandas tm/landsat para estimativa de volume de madeira em floresta implantada de *Pinus* spp. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 9. **Anais**. Santos: INPE, p. 1537-1547, 1998.

TREUHAF, R. N.; GONÇALVES, F. G.; DOS SANTOS, J. R.; KELLER, M.; PALACE, M.; MADSEN, S. N.; SULLIVAN, F.; Graça, P. M. K. A.. Tropical-Forest Biomass Estimation at X-band from the Spaceborne TanDEM-X Interferometer, **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, IEEE. **Geoscience and Remote Sensing Letters**, v.12, p.239-243, 2015.

TREUHAF, R.; LEI, Y.; GONÇALVES, F.; KELLER, M.; SANTOS, J.R.; NEUMANN, M.; ALMEIDA, a. Tropical-forest structure and biomass dynamics from tandem-x radar interferometry. **Forests**, 8, 277, 2017.

TUCKER, C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v.8, p.127-150, 1979. DOI: 10.1016/0034-4257(79)90013-0.

TURNER, D.P.; COHEN, W.B.; KENNEDY, R.E.; FASSNACHT, K.S.; BRIGGS, J.M. Relationships between leaf area index and Landsat TM spectral vegetation indices across three temperate zone sites. **Remote Sensing of Environment**, v.70, p.52-68, 1999. DOI: 10.1016/S0034-4257(99)00057-7.

VIANNA, A. L. M.; VIDAL, E. J.; GORENSTEIN, M. R.; BATISTA, J. L. F.. Tamanho ótimo de parcela para estimativa de estoque de carbono da parte aérea lenhosa de fitofisionomias florestais na Amazônia Oriental. **FLORESTA**, Curitiba, v. 40, n. 2, p. 447 – 456, abr./jun. 2010