

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

Luis Augusto Lima Oliveira Junior

**ESTIMATIVAS DE BIOMASSA E CARBONO EM ÁREAS DE VEGETAÇÃO
SECUNDÁRIA NO TERRITÓRIO PARAENSE**

Belém - Pará

2022

LUIS AUGUSTO LIMA OLIVEIRA JUNIOR

**Estimativas de biomassa e carbono em áreas de vegetação secundária no
território paraense**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais vinculado ao Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, em convênio com o Museu Paraense Emílio Goeldi e a Embrapa Amazônia Oriental, em cumprimento as exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Clima e dinâmica socioambiental na Amazônia.

Linha de pesquisa: Interação Clima, Sociedade e Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Marcos Adami

Coorientador: *PhD.* Michael Maier Keller

Belém - Pará

2022

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

- O48e Oliveira Junior, Luis Augusto Lima.
Estimativas de biomassa e carbono em áreas de vegetação secundária no território paraense / Luis Augusto Lima Oliveira Junior. — 2022.
53 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof. Dr. Marcos Adami
Coorientador(a): Prof. Dr. Michael Maier Keller
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém, 2018.
1. Vegetação Secundária. 2. Biomassa. 3. Carbono. 4. TerraClass. 5. Estado do Pará. I. Título.

CDD 621.3678

LUIS AUGUSTO LIMA OLIVEIRA JUNIOR

**ESTIMATIVAS DE BIOMASSA E CARBONO EM ÁREAS DE
VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA NO TERRITÓRIO PARAENSE.**

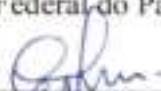
Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em parceria com o Museu Paraense Emílio Goeldi e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária da Amazônia Oriental, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Data de aprovação: 29/ 06 / 2018

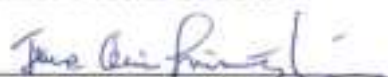
Banca Examinadora:



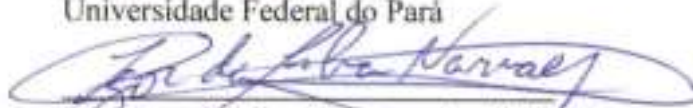
Prof. Marcos Adami - Orientador
Doutor em Sensoriamento Remoto
Universidade Federal do Pará



Prof. Everaldo Barreiros de Souza - Avaliador Interno
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará



Prof. Ima Célia Guimarães Vieira - Avaliador Interno
Doutora em Ecologia
Universidade Federal do Pará



Prof. Igor da Silva Narvaes - Avaliador Externo
Doutor em Sensoriamento Remoto
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Aos meus familiares, em especial meus
pais **Luis e Rozane**, avós, minha
namorada **Thamires** e meu irmão
Luan. Aos meus amigos e todos que
colaboraram para que eu chegasse até
aqui.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Deus primeiramente que me deu saúde e forças para concluir mais essa etapa.

Aos meus pais Luis e Rozane que sempre me apoiaram em tudo que precisei e sei que sempre estarão comigo quando precisar.

Ao meu irmão Luan pelo apoio e companheirismo de todos os dias que muito me ajudou nessa caminhada.

A minha namorada Thamires que sempre esteve comigo em todos os momentos com seu carinho, apoio e compreensão, não deixando que eu desanimasse um só momento me dando forças para que eu pudesse concluir mais esse ciclo.

Ao meu orientador Dr. Marcos Adami por todos os ensinamentos, pela oportunidade, pela paciência e pela dedicação durante todo o meu mestrado. Ao Dr. Michael Keller meu Co-orientador pelas contribuições e ao meu amigo João Victor Siqueira pela sua valorosa ajuda no desenvolvimento desse estudo.

A Universidade Federal do Pará – UFPA, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais pela oportunidade de aprimorar meus estudos e minha formação acadêmica.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, em especial ao Centro Regional da Amazônia (CRA), pela disponibilização de toda estrutura, equipe técnica e informações para a condução desse estudo.

Aos meus companheiros de turma e amigos que contribuíram para que eu chegasse até aqui.

A biblioteca do Instituto de Geociências pelas orientações quanto as normas para formatação desse documento.

E a Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas – FAPESPA que financiou este estudo.

“O conhecimento torna a alma jovem e diminui a amargura da velhice. Colhe, pois, a sabedoria. Armazena suavidade para o amanhã.”

(Leonardo da Vinci)

RESUMO

A dinâmica do uso da terra é um processo bastante intenso na paisagem amazônica pois as áreas florestais constantemente são alvos de desmatamento, na maioria das vezes ilegal, o que compromete o equilíbrio ambiental desse ecossistema. Nesse contexto surge um elemento muito comum na paisagem da região: a vegetação secundária (VS). A VS surge após um distúrbio podendo evoluir e chegar às características próximas as de uma floresta primária. Este trabalho teve como objetivo gerar estimativas de biomassa e carbono acima do solo para as áreas de VS no Estado do Pará no ano de 2014. O método utiliza a variável GSDY (*Growing-Season Degree-Years* – Temporada de Crescimento Graus-Anos), calculada utilizando de dados da idade da vegetação secundária (TerraClass), temperatura e precipitação. A variável GSDY é inserida em um modelo proposto por Johnson et al. (2000) e Zarin et al. (2001) que gera estimativas de biomassa e carbono. A VS foi classificada em cinco classes de acordo com o a idade da vegetação. Foram mapeados mais de 6,9 milhões de hectares (ha) de VS no território paraense o que representou mais de 2 bilhões de toneladas (t) de biomassa (1 bilhão de t de carbono) contidas na VS. Desse total mais de 2,8 milhões de ha de VS encontravam-se vulneráveis em 2014 em razão da Instrução Normativa nº 8 de 28 de Outubro de 2015 da SEMAS – PA que possibilitava a limpeza das áreas com até 5 anos (exceto área de preservação permanente e reserva legal) sem a necessidade de autorização prévia do órgão ambiental competente. A perda dessa VS poderia representar uma grande quantidade de carbono emitida para a atmosfera e consequências danosas ao equilíbrio ambiental da região.

Palavras-chave: Vegetação Secundária, biomassa, carbono, TerraClass, Estado do Pará.

ABSTRACT

Land use dynamics is a very intense process in the Amazon landscape because forest areas are constantly targets of deforestation, often illegal, which compromises the environmental balance of this ecosystem. In this context, a widespread element in the region's landscape is secondary vegetation (SV). The SV appears after a disturbance and can evolve and reach the characteristics close to a primary forest. This work aims to generate above-ground biomass and carbon estimates for the SV areas in the State of Pará for 2014. The methodology uses the variable GSDY (Growing-Season Degree-Years), calculated by SV age (TerraClass), temperature, and precipitation. The variable GSDY is part of a model proposed by Johnson et al. (2000) and Zarin et al. (2001), which generates above-ground biomass and carbon estimates. VS was classified into five classes according to its age. More than 6.9 million hectares of VS were mapped in the State of Para, representing more than two billion tons (t) of biomass (one million t of carbon) contained in VS. More than 2.8 million hectares of VS were vulnerable in 2014 because of SEMAS – PA Normative Instruction that enables cleaning these areas five years old or less (except those protected by law), with no environmental authorization needed. The SV loss could represent a considerable carbon emission to the atmosphere and massive damage to this region's balance.

Keywords: Secondary forest; biomass, carbon, TerraClass, State of Pará.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Emissões Totais de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil (2000-2016).....	20
Figura 2 - Estado do Pará - Área de estudo.....	28
Figura 3 - Exemplo de limitação do modelo pela diferença de escala entre os dados.....	33
Figura 4 - Relação entre GSDY e biomassa estimada.....	34
Figura 5 - Temporada de crescimento média da VS no Pará ao longo da série histórica...	35
Figura 6 - Desvio Padrão de L ao longo da série histórica.....	36
Figura 7 - Temperatura média no Pará ao longo da série histórica.....	37
Figura 8 - Desvio Padrão de T ao longo da série histórica.....	38
Figura 9 - Distribuição espacial da vegetação secundária no Pará em 2014.....	39
Figura 10 - Área de VS no Estado do Pará em 2014, de acordo com a classe de idade..	40
Figura 11 - Taxa de desmatamento anual na Amazônia Legal (PRODES).....	41
Figura 12 - Carbono estimado na vegetação secundária no Estado do Pará até 2014.....	42
Figura 13 A - Área ocupada pela VS no Estado do Pará em 2014 por classe de idade.....	43
Figura 13 B - Biomassa e Carbono estimados nas áreas de VS no Pará em 2014.....	43
Figura 14 - Gráfico de dispersão dos valores estimados e observados (LiDAR) de Carbono.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Materiais utilizados nessa pesquisa.....	29
Tabela 2 - Valores de idade da VS adotados para o cálculo das estimativas em cada faixa de idade.....	31
Tabela 3 - Valores máximos e mínimos (aproximados) observados nas variáveis L e ...	38
Tabela 4 - Valores de Biomassa e Carbono acima do solo estimados no Pará em 2014....	42
Tabela 5- Valores (em Megagramas) de Biomassa por hectare nas diferentes classes de VS em 2014.....	44
Tabela 6 - Acúmulo médio anual de biomassa e carbono por hectare nas diferentes classes de VS.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- APP – Área de Preservação Permanente
- BAS – Biomassa Acima do Solo
- C – Carbono
- CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
- CIE – Comércio Internacional de Emissões
- CNPTIA – Embrapa Informática Agropecuária
- COEMA – Conselho Estadual de Meio Ambiente
- COP – Conferências das Partes (traduzido do inglês)
- CPATU – Embrapa Amazônia Oriental
- CRA – Centro Regional da Amazônia
- DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte
- DP – Desvio Padrão
- EMQ – Erro Médio Quadrático
- GEE – Gases de Efeito Estufa
- GSDY – Temporada de Crescimento da Vegetação Secundária Graus Anos (traduzido do inglês)
- HA – Hectare
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IC – Implementação Conjunta
- IDH – Índice de Desenvolvimento Humano
- IN – Instrução Normativa
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- IPCC – Painel Intergovernamental de Mudança do Clima (traduzido do inglês)
- L – Duração da Temporada de Crescimento da Vegetação
- LiDAR - (*Light Detection And Ranging*, na sigla em inglês)
- MDL – Mecanismos de Desenvolvimento Limpo
- ONU – Organização das Nações Unidas
- PA – Pará
- PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
- PPCDAm – Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal

REDD (+) – Redução de Emissões de Desmatamento e Degradação Florestal

RL – Reserva Legal

SEEG – Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa

SEMAS – Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Sustentabilidade

T – Temperatura Média da Temporada de Crescimento da Vegetação

UNFCC – Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (traduzido do inglês)

VS – Vegetação Secundária

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	17
3 REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1 Amazônia, desmatamento e seus impactos	18
3.2 Emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil e no Pará	19
3.3 Projeto TerraClass	20
3.4 Vegetação Secundária	21
3.5 Estudos da Vegetação Secundária no Pará	23
3.6 Instrução Normativa 08 de 28 de Outubro de 2015.	25
3.7 Estimativas de biomassa através de equações alométricas	26
4 MATERIAIS E MÉTODOS	28
4.1 Área de estudo	28
4.2 Materiais	29
4.3 Métodos	30
4.4 Limitações do Modelo	33
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1 Temporada de Crescimento da Vegetação Secundária no Pará (1988-2014) ...	35
5.2 Temperatura Média no Pará (1988-2014)	36
5.3 Ocorrência e Idade da Vegetação Secundária	39
5.4 Biomassa e Carbono (acima do solo) estimados	41
5.5 Validação das Estimativas	46
6 CONCLUSÕES	48
REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas globais e suas consequências sobre a vida das pessoas tem sido amplamente discutida no cenário mundial e tornaram-se uma grande preocupação para a sociedade contemporânea. A comunidade internacional intensificou os debates sobre os problemas relacionados à mudança do clima, principalmente a partir da Conferência do Rio em 1992 (ECO 92). Visando minimizar as alterações climáticas, em 1997 foi firmado o Protocolo de Quioto, que estabeleceu metas para a redução das emissões de gases do efeito estufa – GEE (POPPE, 2008).

O Painel Intergovernamental de Mudança do Clima (STOCKER, 2013) aponta que poderemos observar um aumento das temperaturas médias globais entre 0,3 e 4,8 °C, até o final do século XXI. O aquecimento é causado pelas emissões antrópicas de GEE, principalmente o dióxido de carbono (CO₂), oriundo da queima de combustíveis fósseis e queimadas oriundas de desmatamento, o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O), sobretudo proveniente das atividades agropecuárias (POPPE, 2008).

Aproximadamente 55% do estoque de carbono (C) do planeta se encontra nas florestas tropicais (PAN et al., 2011). Neste sentido, a manutenção da floresta Amazônica tem um papel fundamental para reduzir o aquecimento global, pois contém entre 60 a 80 bilhões de toneladas de carbono armazenados em suas árvores (CARVALHO et al., 2004). Assim, estima-se que cerca de 150 a 250 milhões de toneladas de carbono são emitidas anualmente na Amazônia devido às mudanças no uso e cobertura da terra (HOUGHTON et al., 2000).

O volume de biomassa florestal e sua distribuição são fatores controladores do estoque de carbono global, como também servem de base para a predição futura das mudanças climáticas (DIXON et al., 1994; SILVEIRA et al., 2008). Uma estimativa acurada da biomassa florestal e seu padrão de mudança no tempo é um pré-requisito para ajudar a entender a controvérsia sobre a função das florestas no ciclo do carbono, quando analisamos se as florestas estocam ou não carbono da atmosfera (BROWN; SCHROEDER; KERN, 1999; SILVEIRA et al., 2008).

As mudanças na cobertura do solo podem desencadear processos sucessionais que dão origem às florestas secundárias. A sucessão é a mudança na composição e estrutura da comunidade ao longo do tempo e começa quando um distúrbio é seguido pela

colonização, por plantas, da área perturbada. A formação vegetal que cresce em seguida ao distúrbio é chamada de vegetação secundária (VS), a qual pode ser definida como um conjunto de sociedades vegetais, em diversos estágios sucessionais, que tendem a alcançar uma comunidade mais complexa, diversa e estável, sendo um meio de renovação das florestas tropicais (NUNES, 2011).

A VS cobre aproximadamente 350 milhões de hectares (ha) ao logo do planeta, sendo que 50% se encontra nas Américas Central e do Sul (PUIG, 2005). Atualmente, estima-se que 21% das áreas desmatadas na Amazônia estão cobertas por florestas secundárias (ALMEIDA et al., 2016). Em 1990, 47,6% das áreas desmatadas na região amazônica eram ocupadas por vegetação secundária com pelo menos 3 anos de idade e mais de um terço disso tinha pelo menos 20 anos. Por este motivo essas áreas estão sendo consideradas fontes de absorção de carbono (FEARNSIDE, 1996). As áreas de vegetação secundárias podem ser utilizadas também para fins antrópicos evitando assim o desmatamento de novas áreas de vegetação primária. (NUNES, 2011).

A VS possui um rápido aumento de biomassa ao longo da sua evolução, promovendo o acúmulo de carbono atmosférico em seu lenho, raízes e folhas, com uma produtividade primária de quase o dobro de uma floresta primária. Desta forma, fica claro a sua contribuição para a contenção dos efeitos do aquecimento global, devido ao sequestro de carbono da atmosfera para ser incorporado ao tecido vegetal durante seu crescimento (PUIG, 2005). Para determinar em que nível de sucessão se encontra a VS este autor considerou a idade da VS como o tempo (em anos) de crescimento dessa vegetação após a ocorrência do distúrbio.

Devido às incertezas sobre a quantidade de C acumulada pelas áreas florestais e uma possível mudança na sua magnitude com o passar do tempo, gerar uma estimativa do carbono assimilado na vegetação é muito importante para dar suporte a ações de mitigação climáticas futuras (PAN et al., 2011). Existe uma grande necessidade de pesquisas relacionadas à quantificação do carbono estocado na biomassa de espécies em estágio sucessionais secundários, bem como de projetos de recuperação de áreas degradadas para a contenção dos efeitos de mudanças do clima (NUNES, 2011).

É importante também levar em conta o papel fundamental da VS no reestabelecimento da biodiversidade. O reconhecimento do papel da vegetação secundária na manutenção estrutural e funcional da biodiversidade em nível de paisagem

e seu potencial como suporte para o desenvolvimento sustentável passa pela intensificação dos estudos sobre a dinâmica dessas florestas e das condições atuais em que elas se encontram em diversas paisagens antropizadas nos trópicos (VIEIRA; GARDNER, 2012).

Esta pesquisa propõe uma abordagem interdisciplinar que integra conhecimentos de ambas as linhas de pesquisas do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) e colabora na tentativa de entender qual a contribuição da VS no sequestro do carbono contido da atmosfera. Este estudo combina dados sobre a dinâmica da VS no estado do Pará (caracterizando sua ocorrência e idade aproximada), com dados climáticos de temperatura e precipitação para estimar a biomassa e o carbono nas áreas de VS no Pará. O Estado do Pará foi escolhido como área de estudo para este trabalho pela forte dinâmica de uso do solo, pois de acordo com o Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa – SEEG (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2017) o Pará é o maior emissor de GEE's entre os estados brasileiros. Além disso, o estado possui uma legislação especial para análise das áreas de vegetação secundária no território paraense. Trata-se da Instrução Normativa 08 de 28 de Outubro de 2015 da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS - PA), que será discutida no decorrer desta pesquisa.

2 OBJETIVOS

GERAL

Estimar a biomassa e o carbono acima do solo da vegetação secundária existente no território paraense em 2014.

ESPECÍFICOS

- Analisar a distribuição espacial e quantificar as áreas de vegetação secundária no Estado do Pará;
- Estimar as idades, biomassa e carbono das áreas de vegetação secundária no Estado do Pará;
- Validar as estimativas de carbono calculadas neste estudo, comparando com os dados obtidos utilizando dados de *LiDAR Light Detection And Ranging*, na sigla em inglês).

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Amazônia, desmatamento e seus impactos

A Bacia Amazônica possui uma área estimada de 6,3 milhões de quilômetros quadrados, sendo que aproximadamente 5 milhões em território brasileiro e o restante dividido entre os países: Bolívia, Colômbia, Equador e Peru. Esta região é limitada à oeste pela Cordilheira dos Andes com elevações de até 6.000 m, à norte pelo Planalto das Guianas com picos montanhosos de até 3.000 m, ao sul pelo Planalto Central com altitudes típicas de 1.200 m e à leste pelo Oceano Atlântico (FISCH, GILBERTO; MARENGO, JOSÉ; NOBRE, 1998). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2017), a área da Amazônia Legal no Brasil é de 5.032.925 km², compreendidos pelos estados do Pará, Amazonas, Rondônia, Roraima, Acre e Amapá e parte dos estados do Tocantins, Mato Grosso e Maranhão.

A remoção da floresta amazônica traria efeitos tremendos na biodiversidade já que possui cerca de metade das espécies do mundo (SHUKLA; NOBRE; SELLERS, 1990). Diversos autores destacam a grande ameaça que o desmatamento causa a biodiversidade da região amazônica, inclusive podendo levar diversas espécies à extinção (ALVES, 2001; FEARNSSIDE, 2005; METZGER, 2001). Outro ponto importante diretamente relacionado com o desmatamento é a sua contribuição no processo de mudanças climáticas através da emissão de GEE (FEARNSSIDE, 2005; METZGER, 2001; SHUKLA; NOBRE; SELLERS, 1990). Essas mudanças podem levar ao derretimento parcial ou até mesmo total das calotas polares, provocando o aumento do nível médio dos mares e alterações na circulação oceânica. A remoção e fixação do carbono da atmosfera na biosfera terrestre é uma das opções que vem sendo propostas para compensar a emissão destes GEE (LACERDA et al., 2009).

O solo desmatado sofre com o processo de erosão, compactação e exaustão de nutrientes. A destruição da floresta implicaria também numa alteração no ciclo hidrológico da região amazônica e de regiões vizinhas, principalmente no regime de precipitação dessas áreas pois o desmatamento aumenta o escoamento superficial e diminui a evapotranspiração na Amazônia (NÓBREGA, 2014).

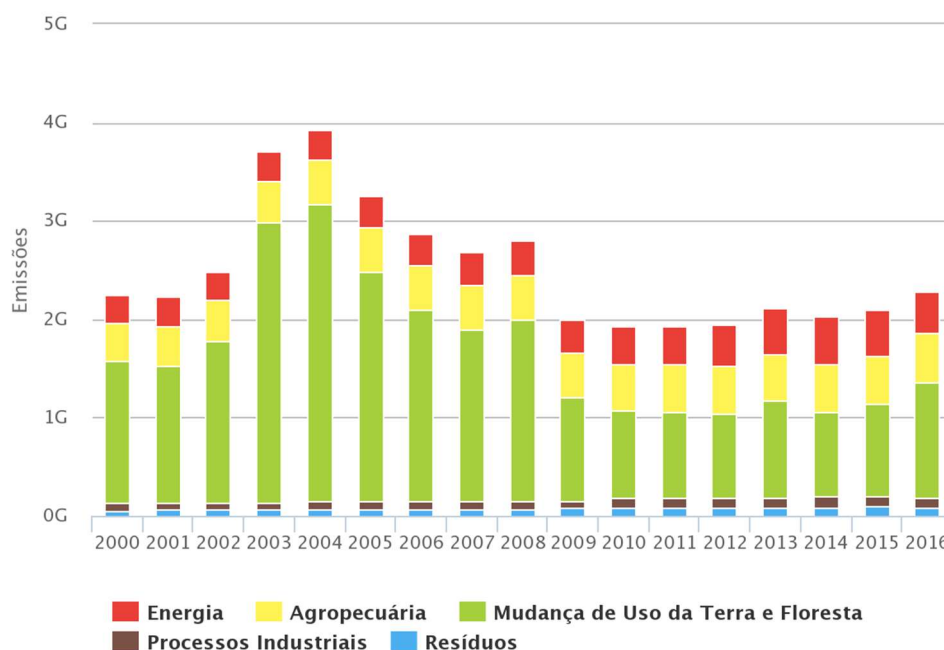
Vários autores elaboraram modelos para tentar estimar qual seria o impacto da retirada da floresta sobre o clima da região amazônica, onde os resultados apontam que

teríamos uma forte mudança no seu regime climático, com grande queda na evapotranspiração e na precipitação, assim como na redução da duração do período mais chuvoso na região (ALVES, 2001; FEARNSSIDE, 2005; NÓBREGA, 2014; WERTH; AVISSAR, 2002) Alguns modelos indicam que caso ocorra redução da chuva sobre as áreas de floresta, a mesma possa se tornar uma savana (HIROTA et al., 2011).

3.2 Emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil e no Pará

As florestas são consideradas reservatórios de carbono e têm sido apontadas como alternativas para redução de gases do efeito estufa, principalmente CO₂, por meio da bioacumulação em seus tecidos. A Amazônia tem um importante papel no cenário climática global pois contém uma quantidade expressiva de carbono estocada na sua vegetação, caso esse carbono seja emitido para a atmosfera aumentam as chances de ocorrer um desequilíbrio climático que pode comprometer o funcionamento dos ecossistemas no planeta. O desmatamento na Amazônia representa 2/3 das emissões de GEE no Brasil (CARVALHO et al., 2004). Dentro das comunidades científicas as emissões de carbono provenientes do desmatamento foram estimadas em cerca de 20% das emissões globais antropogênicas de CO₂ (VAN DER WERF et al., 2009). O SEEG aponta que o Brasil em 2004 foi responsável por 6,2% das emissões globais. Já em 2012, com a queda do desmatamento, a contribuição brasileira nas emissões de GEE ficou na casa dos 2,9% em termos globais. A Figura 1 apresenta as emissões totais do Brasil no período entre 2000 e 2016, além da contribuição dos principais setores na emissão de GEE: Energia, Agropecuária, Mudança de Uso da Terra, Processos Industriais e Resíduos. Observa-se que as emissões no Brasil estão diretamente relacionadas com o setor de mudança de uso da terra e florestas, sendo esse elemento, a principal causa de variações nas emissões totais.

Figura 1 - Emissões Totais de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil (2000-2016).



Fonte: Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa – SEEG (2016).

Em 2016, o Pará ficou em primeiro lugar no ranking de emissões de GEE, quando comparado com os demais estados brasileiros. O setor de mudança de uso da terra representou 81% das emissões do Pará, seguido por Agropecuária com 14%, Energia 4%, Indústria e Resíduos com completam 1% restante. Ao analisar as emissões somente de mudanças de uso da terra no Estado do Pará, percebe-se que 96,2% desta se trata de alteração no uso do solo e 3,8% da queima de resíduos em cima do solo (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2017). O estado do Pará foi responsável em 2016 por 9,2% das emissões líquidas de GEE no Brasil.

3.3 Projeto TerraClass

O Projeto TerraClass é resultado de uma parceria entre o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Centro Regional da Amazônia (INPE/CRA), Embrapa Amazônia Oriental (CPATU), ambas localizadas em Belém - PA, e a Embrapa Informática Agropecuária (CNPTIA), situada em Campinas – SP. Este projeto tem como objetivo produzir mapas sistêmicos de uso e cobertura das terras desflorestadas da Amazônia Legal Brasileira. Como principal resultado deste mapeamento é possível entender a dinâmica de uso e cobertura da Amazônia Legal Brasileira. Para isto já foram mapeados cinco anos de uso e cobertura (2004, 2008, 2010, 2012 e 2014) que permitiram uma

análise evolutiva de uma década que se iniciou no ano da implantação do Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm). Com estes resultados é possível fazer uma avaliação da dinâmica do uso e ocupação das áreas desflorestadas nestes 10 anos da implementação do PPCDAm (ALMEIDA et al., 2016).

A continuação do monitoramento executado pelo TerraClass permitirá análises cada vez mais robustas dos principais vetores de desmatamento na Amazônia, assim como a determinação de fontes de emissões ou sumidouros dos GEE. No projeto TerraClass as áreas de VS foram identificadas utilizando imagens de satélite tipo Landsat. Para isso, são aplicados os processamentos de modelo de mistura linear e fatiamento (ALMEIDA et al., 2010).

3.4 Vegetação Secundária

A Vegetação Secundária (VS), são aquelas vegetações lenhosas que resultam dos processos sucessionais depois da perda da floresta primária original. As aberturas nas florestas primárias ocorrem devido a distúrbios causados por fatores naturais como tempestades, furacões, deslizamentos de terra ou fogo. Atividades humanas como o desmatamento para implementar lavouras, pastos, minas e estradas podem também promover o aumento de vegetação secundária (SCHWARTZ; FERREIRA; LOPES, 2015). Diversos autores em suas obras definiram o conceito de VS, por exemplo para (BROWN; LUGO, 1990) vegetação secundária são aquelas resultantes do distúrbio humano decorrentes de desmatamento, degradação por fogo ou exploração de madeira em áreas anteriormente cobertas por floresta.

Numa definição ampla, VS é a vegetação arbórea arbustiva que se desenvolve secundariamente por meio da regeneração natural, após um distúrbio que elimina mais de 90% da cobertura vegetal primária (PEREIRA; VIEIRA, 2001).

O conceito de floresta secundária não é um consenso entre os diferentes autores, que divergem, principalmente, com relação à natureza do distúrbio que dá início a sucessão (PEREIRA; VIEIRA, 2001). Partes dos autores consideram que a VS ocorre após uma alteração antrópica e parte defende que a VS pode surgir após uma alteração natural ou antrópica.

A vegetação secundária pode ser definida como aquela vegetação resultante do crescimento em áreas que tenham sido completamente desmatadas no passado (BERENGUER, 2013).

Segundo Almeida et al. (2016) para o projeto TerraClass as áreas de VS são aquelas aonde originalmente havia floresta, que tenham sido desmatadas, que foram utilizadas para a silvicultura, agricultura ou pastagem e depois deixadas para se regenerar, assumindo novamente uma aparência florestal. O projeto TerraClass também seguiu o observado por Vieira et al. (2003) em que as áreas mapeadas como VS podem estar em vários estágios de desenvolvimento, desde os estágios iniciais, quando a copa é homogênea e poucas espécies são encontradas, até os estágios mais avançados quando a heterogeneidade da copa e a diversidade de espécies é semelhante à floresta original. Por tanto, em um único mapeamento podem ser encontradas vegetação secundária com as mais variadas idades, o que dificulta o uso de uma única fonte de informação para estimar a idade e por consequência, outros parâmetros biofísicos desta vegetação.

Para Vieira et al. (2014) vegetação secundária é um elemento de paisagem muito comum em ambientes que de alguma forma foram alterados pelo homem e possui uma importância estratégica para a manutenção da biodiversidade, principalmente em regiões onde restou pequenas áreas de floresta primária. Além disso, são importantes para a recuperação da fertilidade do solo e do estoque de carbono. Em 2010, 25% das áreas desmatadas na Amazônia brasileira encontram-se com algum tipo de vegetação secundária na sua superfície e 40% dessas áreas encontram-se no estado do Pará, onde o projeto TerraClass identificou aproximadamente 165.000 km² de vegetação secundária (VIEIRA et al., 2014).

A sucessão secundária em áreas desmatadas na Amazônia brasileira deve ser considerada como parte de um processo complexo que começa com o desmatamento, cuja evolução pode seguir uma variedade de trajetórias (MELLO; ALVES, 2011). A VS é alvo de constantes intervenções que podem resultar na sua degradação e mesmo após sofrer algum distúrbio, a vegetação secundária pode se recuperar e de alguma forma se desenvolver. Poorter et al. (2016) discutem em seu trabalho o conceito de resiliência da biomassa na vegetação secundária, que representa a capacidade que a VS tem de se recuperar após sofrer um distúrbio e de retornar para um estado igual ou bem próximo do anterior ao evento. Neste sentido, algumas variáveis são determinantes para a recuperação

da biomassa da vegetação secundária após sofrer um distúrbio, dentre eles: o clima, o solo e a intensidade do distúrbio sofrido. Assim, a velocidade de recuperação está associada a chuva, a fertilidade do solo, vizinhança com remanescentes florestais e com a intensidade do uso anterior.

A acumulação de biomassa destas áreas de VS ocorre em função do tempo prévio de uso do solo. VS sobre solos exaustivamente utilizados para pastagens tendem a acumular biomassa mais lentamente quando comparadas as VS que cresceram em pastos com menor intensidade pretérita de uso (CORDEIRO et al., 2017).

Durante todo o processo sucessional secundário, a vegetação sofre uma evolução que vai desde a formação de gramas e arbustos, até o estabelecimento de uma floresta em estágios sucessionais mais avançados, com estrutura e riqueza de espécies semelhantes a de uma floresta primária (NUNES, 2011). Desta forma, ocorre um rápido aumento de biomassa ao longo da evolução da VS, resultando num acúmulo de carbono atmosférico em seu lenho, raízes e folhas, com uma produtividade de quase o dobro de uma floresta primária (PUIG, 2005).

3.5 Estudos da Vegetação Secundária no Pará

Diversos autores analisaram a dinâmica da vegetação secundária no território paraense, Uhl et al. (1988) estudaram a região de Paragominas – PA, onde observou áreas cortadas e queimadas que foram abandonadas e posteriormente utilizadas como pastos. nessas áreas a acumulação de biomassa acima de solo variou entre 0,6 e 10 toneladas por hectare por ano, de acordo com a intensidade do uso prévio da área, sendo que 10 toneladas representam aproximadamente um quarto dos valores de biomassa de uma floresta madura. A riqueza de espécies também variou de acordo com a intensidade do uso anterior das áreas de vegetação secundária, sendo maior nas áreas com um leve uso do que nas áreas com um uso pesado.

Vieira et al. (2003) estudaram a vegetação secundária em vários estágios sucessionais no município de São Francisco do Pará, nordeste do Pará, utilizando imagens do satélite Landsat. Entre os resultados os autores observaram que o acúmulo de biomassa se comportou de maneira mais lenta em relação à outras áreas estudadas por outros autores.

Baar et al. (2004) destacaram a importância da vegetação secundária na regulação do clima, manutenção da biodiversidade e no estoque de carbono, entre outros aspectos. Os autores averiguaram a composição florística da vegetação secundária na região bragantina nordeste do Pará, avaliando áreas de 4 meses a 10 anos de idade, tendo sido encontradas 673 espécies de 97 famílias. Na comparação entre inventários locais e regionais foram observadas similaridades entre vegetação de pousio e vegetação secundária, e uma diferença considerável de composição quando comparada a floresta primária.

Schwartz (2007) também estudou o nordeste paraense, onde 90% da sua vegetação é composta por floresta secundária. Neste estudo, o autor avaliou o potencial de algumas espécies no manejo de florestas secundárias, identificando as espécies com importância econômica para os agricultores da região e indicando-as como peças importantes a serem consideradas em um plano de manejo, pois possuem altas densidades e frequências nas áreas estudadas.

Nunes (2011) comparou florestas no município de Paragominas – PA em seis diferentes estágios de desenvolvimento (floresta primária e 5 tipos de florestas secundárias), estimando a biomassa e o carbono contido nessas áreas, utilizando equações alométricas propostas por diferentes autores. Esses métodos foram alimentados por dados colhidos em inventários florestais que detalhavam as características de cada tipo de floresta.

Vieira et al. (2014) analisaram os principais desafios que o governo enfrenta para desenvolver uma governança efetiva nas áreas de vegetação secundária na Amazônia Brasileira, em especial no Estado do Pará, dentre os principais desafios operacionais para uma boa governança dessas áreas os autores citam: a compreensão dos aspectos históricos, geográficos e ecológicos que influenciam no sucesso de projetos de restauração, acesso à guias técnicos e suporte institucional para atividades de restauração, recursos para monitoramento de florestas secundárias e acesso à recursos financeiros adequados.

Berenguer et al. (2014) investigaram os efeitos dos distúrbios antropogênicos, em especial a exploração de madeira, fogo e fragmentação florestal no estoque de carbono das florestas tentando entender qual o efeito desses distúrbios comparando as estimativas

dos estoques de carbono de florestas nativas, florestas que sofreram distúrbios e áreas de vegetação secundária.

3.6 Instrução Normativa 08 de 28 de Outubro de 2015.

No dia 28 de Outubro de 2015 foi publicado no Diário Oficial do Estado do Pará a Instrução Normativa (IN) nº 8 que define procedimentos administrativos para a realização de limpeza e autorização de supressão, a serem realizadas nas áreas de vegetação secundária em estágio inicial de regeneração, localizadas fora da Reserva Legal - RL e da Área de Preservação Permanente – APP dos imóveis rurais, no âmbito do Estado do Pará, e dá outras providências (GOVERNO DO ESTADO DO PARÁ, 2015). No seu 3º artigo a IN nº 8 define que a limpeza e supressão, de que trata o art. 1º desta norma, podem ocorrer em áreas degradadas, abandonadas, subutilizadas ou em regime de pousio do imóvel rural, somente, mediante regras previstas nesta IN.

A IN nº 8 define alguns conceitos importantes em seu artigo 4º:

“Art. 4º Para fins desta Instrução Normativa, considera-se vegetação secundária em estágio inicial de regeneração àquela resultante dos processos naturais de sucessão, após supressão total da vegetação primária por ações antrópicas ou causas naturais, nas seguintes condições:

- I – que estejam em processo de regeneração nos últimos 5 (cinco) anos, hipótese em que o procedimento será de Limpeza de Vegetação Secundária; ou
- II – em processo de regeneração entre 5 (cinco) e 20 (vinte) anos...”

Os dois tipos de procedimento detalhado nessa IN possuem diferentes passos para serem realizados. Segundo a IN a limpeza da vegetação secundária em estágio inicial de regeneração ocorre quando a vegetação em questão possui de 1 até 5 anos de abandono, estando dispensadas de autorização do órgão ambiental, no âmbito do Estado (SEMAS - PA), desde que localizadas fora da RL e da APP, devendo o interessado informar ao órgão ambiental o exercício da limpeza.

A supressão da vegetação secundária em processo de regeneração, por outro lado, exige que o proprietário do imóvel dê entrada no órgão ambiental estadual ou municipal, atendendo aos limites de competência estabelecidos pela Resolução COEMA (Conselho Estadual de Meio Ambiente) nº 116/2014, para solicitação de autorização para executar a

supressão. Esse procedimento deve ser realizado quando a vegetação em questão possui de 5 a 20 anos de crescimento com área basal abaixo de 10 m² por hectare.

3.7 Estimativas de biomassa através de equações alométricas

Equações alométricas para estimar a biomassa e o estoque de carbono de determinadas florestas primárias da Amazônia vem sendo desenvolvidas por diversos autores como por exemplo: (BROWN; LUGO, 1992; CHAMBERS et al., 2001; HIGUCHI et al., 1998; OVERMAN et al., 1994). Essas equações têm sido utilizadas nas estimativas de biomassa de florestas plantadas e até de vegetação secundária. Entretanto, o uso de equações alométricas desenvolvidas com dados de florestas primárias pode não ser apropriado para estimar a biomassa de vegetação secundária devido à história de vida, arquitetura, densidade da madeira e amplitude de parâmetros biométricos que são diferentes das espécies primárias usadas para desenvolver o modelo (NELSON et al., 1999; WIEMANN; WILLIAMSON, 1988). Isto demanda o desenvolvimento de equações alométricas específicas para estimar mais precisamente a biomassa de vegetação secundária (WANDELLI; FEARNESIDE, 2014).

Johnson et al. (2000) estimaram a biomassa de vegetação secundária para várias regiões do mundo com diferentes contextos, em diferentes climas, texturas de solo, tipos florestais, utilizando diversas variáveis como idade da vegetação secundária, duração da estação de crescimento da vegetação, temperatura média da estação de crescimento, disponibilidade de umidade do solo, disponibilidade de nutrientes no solo, tamanho e intensidade da perturbação. Os autores observaram que os principais fatores que influenciam a biomassa acima do solo, em uma determinada região, são as características climáticas e a disponibilidade de umidade no solo.

Zarin et al. (2001) refinou a metodologia de Johnson et al. (2000) para estimar a biomassa nas áreas de VS para a amazônica brasileira. Utilizando as mesmas variáveis de do trabalho anterior, Zarin et al. (2001) calibraram duas equações para gerar as estimativas de biomassa de acordo com o tipo de solo de cada região, as equações geraram estimativas para áreas com solos arenosos e solos não arenosos, e como produto desse estudo foram gerados mapas de biomassa para a região amazônica.

Berenguer et al. (2014) estimaram a biomassa e o carbono na sua área de estudo através de variáveis selecionadas por testes estatísticos. Foi constatado que regiões sem

distúrbios possuem em média 40% mais carbono do que regiões que sofreram algum tipo de distúrbio, evidenciando a vulnerabilidade dos estoques de carbono aos distúrbios antropogênicos.

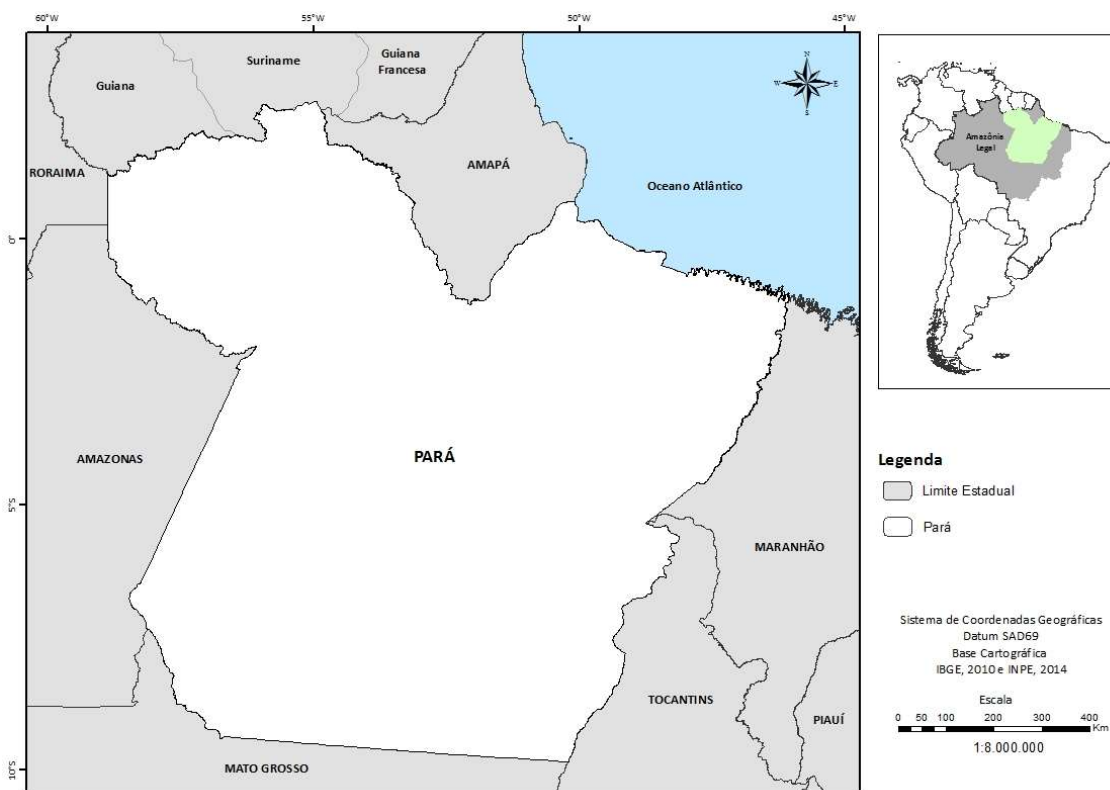
Poorter et al. (2016) estimaram a biomassa na vegetação secundária na América Latina em função do tempo decorrido desde o abandono, levando em consideração a atividade principal ou uso da área (agricultura, pecuária e etc.). Neste trabalho, os autores também constataram que a recuperação da biomassa, por meio do crescimento da vegetação secundária está associada com a disponibilidade hídrica da região (precipitação), capacidade de troca catiônica do solo, cobertura florestal e o uso a priori da terra.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

A área de estudo é o estado do Pará, uma das 27 unidades federativas do Brasil. Em área o Pará é o segundo maior estado do país com uma extensão de 1.247.955,238 km², divididos em 144 municípios. O estado é o mais populoso da região norte e o nono do país, contando com uma população estimada de 8.300.000 habitantes em 2017. Segundo o Censo 2010, o Pará tem o 24º IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) entre os 27 estados da federação (IBGE, 2017). A Figura 2 destaca o Estado do Pará, área de estudo deste trabalho:

Figura 2 - Estado do Pará - Área de estudo.



Fonte: O autor.

De acordo com dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no Estado do Pará a precipitação média anual é de 2.214 mm, variando entre 1.678 mm na região central do Estado e 3.216 mm ao Norte do Estado. A temperatura do ar no Pará apresenta pequena variação sazonal, com médias acima de 25°C em todos os meses do ano (MORAES et al., 2004).

4.2 Materiais

A Tabela 1 lista todos os materiais utilizados nessa pesquisa:

Tabela 1 - Materiais utilizados nessa pesquisa.

Material	Descrição	Fonte
Mapa de ocorrência da VS no Pará	Informação extraída dos produtos TerraClass (2004 - 2014). Foram consideradas para essa pesquisa as classes Vegetação Secundária e Regeneração com Pasto.	(Almeida et al., 2016) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Centro Regional da Amazônia
Mapa de idade aproximada da VS	Informação obtida através da análise de permanência ao longo do tempo das classes selecionadas no produto TerraClass	O autor.
Precipitação Total Mensal (cm/mês)	Precipitação Total Mensal para o Estado do Pará (1988 - 2014)	Willmott e Matsuura (2001) - Universidade de Delaware – EUA
Temperatura Média Mensal (°C)	Temperatura média mensal no Estado do Pará (1988 - 2014)	Willmott e Matsuura (2001) - Universidade de Delaware – EUA
Dados de Carbono	Arquivos <i>raster</i> (matricial) com informações de Carbono no município de Paragominas	PAISAGENS SUSTENTÁVEIS (2018)

Fonte: O autor.

Mapa de Idade da Vegetação Secundária no Estado do Pará

Foram utilizados os produtos TerraClass (2004, 2008, 2010, 2012 e 2014) que possuem diversas classes de uso e cobertura do solo, no entanto será objeto desse estudo somente as classes Vegetação Secundária e Regeneração com Pasto, dentro do limite do Estado do Pará. Essas duas classes foram selecionadas pois possuem características de áreas secundárias, contendo cobertura vegetal proveniente de um processo sucessional que surge após intervenção antrópica, ou seja, nessas áreas foi observado a remoção da vegetação nativa seguido de uso agropecuário ou abandono da área.

Temperatura Média Mensal e Precipitação Total Mensal

Foram utilizados dados de temperatura e precipitação produzidos pelo Centro de Pesquisa Climática do Departamento de Geografia da Universidade de Delaware nos Estados Unidos da América (WILLMOTT; MATSUURA, 2001).

Dados de Carbono

Foram utilizados dados de carbono (arquivos *raster*) produzidos no Projeto Paisagens Sustentáveis (Paisagens Sustentáveis, 2018), para algumas áreas do município de Paragominas, para auxiliar na validação e comparação das estimativas de carbono calculadas neste trabalho.

4.3 Métodos

As áreas de VS no estado do Pará foram quantificadas utilizando os dados do TerraClass de 2004 a 2014. Em seguida, utilizando esse dado e adotando como base o ano de 2014, foi realizada a intersecção com os demais anos, verificando ao longo da série se a VS permanecia ou não ao longo do tempo. Por exemplo, se a VS aparecesse no ano de 2014 e não aparecesse nos demais anos, concluiu-se que a VS possui de um a dois anos de idade. Com o resultado desta intersecção foi estimada a idade aproximada da vegetação secundária em cinco classes: **Classe I**) 1 a 2 anos (áreas que estão presentes somente no mapeamento 2014); **Classe II**) 3 a 4 anos (áreas que estão presentes nos mapeamentos 2012 e 2014); **Classe III**) 5 a 6 anos (áreas que estão presentes nos mapeamentos 2010, 2012 e 2014); **Classe IV**) 7 a 10 anos (áreas que estão presentes nos mapeamentos 2008, 2010, 2012 e 2014); **Classe V**) A vegetação secundária presente em todos os mapeamentos possui idade maior que 10 anos. Para viabilizar o cálculo das estimativas propostas neste estudo foi necessário adotar um valor padrão de idade da VS para cada faixa de idade. Este autor optou por adotar o valor mínimo de cada faixa de idade com o intuito de evitar a superestimativa da biomassa na metodologia proposta, como podemos observar na Tabela 2:

Tabela 2 - Valores de idade da VS adotados para o cálculo das estimativas em cada faixa de idade.

Classe VS	Intervalo de idade (anos)	Valor de idade adotado
I	1-2	1
II	3-4	3
III	5-6	5
IV	7-10	7
V	> 10	11

Fonte: O autor.

Após a obtenção da idade da vegetação secundária, foi aplicada a metodologia proposta por Johnson et al. (2000) e refinada por Zarin et al. (2001) que estimaram a biomassa e o carbono acima do solo, em várias regiões do planeta e para a Amazônia, através da variável *Growing-Season Degree-Years (GSDY)* (duração da temporada de crescimento graus anos).

Em seus trabalhos, Johnson et al. (2000) e Zarin et al. (2001) utilizaram informações de precipitação para determinar *L* (duração da temporada de crescimento) da vegetação secundária, para as regiões tropicais *L* é o número de meses em que o total de precipitação foi maior que 100 mm (milímetros). A variável *L* foi calculada da seguinte forma: em cada ano observou-se o número de meses em que a precipitação acumulada foi maior que 100 mm, em seguida foi somado o número de dias contidos nesses meses selecionados e por fim divide-se o número de dias por 365 (ou 366 em caso de ano bissexto). Os resultados da variável *L* estarão sempre entre o intervalo 0 a 1.

Como a variável *A* está classificada em forma de um intervalo de idade, este autor utilizou sempre os valores mínimos dos intervalos de *A* para o cálculo do GSDY.

A variável GSDY pode ser calculada utilizando a seguinte equação:

$$GSDY = A.T.L/365 \quad (1)$$

onde *A* = idade aproximada da vegetação secundária (TerraClass), *T* = temperatura média (°C) da temporada de crescimento da vegetação e *L* = duração da temporada de crescimento (em dias).

Zarin et al. (2001) baseados no estudo de Johnson et al. (2000) ajustaram duas equações para a realidade da região amazônica na tentativa de calcular a biomassa acima

do solo (*ABA – Aboveground Biomass*) em toneladas por hectare, de acordo com o tipo de solo. Para solos arenosos temos a equação 2 e para solos não-arenosos temos a equação 3. O tipo de solo foi determinado com o auxílio do mapa de solos do Estado do Pará (Embrapa, 2017).

$$ABA_{arenoso} = -65,73 + 23,86 \ln(GSDY) \quad (2)$$

$$ABA_{n\tilde{a}o\ arenoso} = 0,67 + 0,43 (GSDY) \quad (3)$$

Zarin et al. (2001) identificaram que a equação 2 acaba superestimando a biomassa (ABA) acima do solo nos anos iniciais de regeneração e subestimando durante o desenvolvimento da vegetação secundária. Como forma de tentar corrigir esse problema os mesmos autores propuseram a equação 4 em substituição a equação 2 no cálculo da biomassa em solos arenoso:

$$ABA_{arenoso} = -131,05 + 34,70 \ln(GSDY) \quad (4)$$

Os dados de carbono gerados pelas equações 3 e 4 foram validados e comparados com os valores de biomassa das regiões do Pará onde o projeto Paisagens Sustentáveis possui informação. A validação serviu para medir o grau de precisão das equações anteriormente citadas na estimativa da biomassa na vegetação secundária.

Os cálculos do *GSDY*, da biomassa acima do solo (*ABA*) e do carbono foram realizados através de um script programado na linguagem *JavaScript* e processado dentro da plataforma *Google Earth Engine*. Como produtos desse processamento foram gerados imagens (arquivo raster) no formato “tif” com informações da biomassa acumulada acima do solo.

A partir dos valores de biomassa foram calculados os valores de carbono contidos na vegetação secundária. Vários autores consideram que 50% da biomassa é composta por carbono (BERENGUER et al., 2014; LACERDA et al., 2009; SAATCHI, 2011). A equação 5 mostra como foi calculado o carbono neste trabalho:

$$C = ABA/2 \quad (5)$$

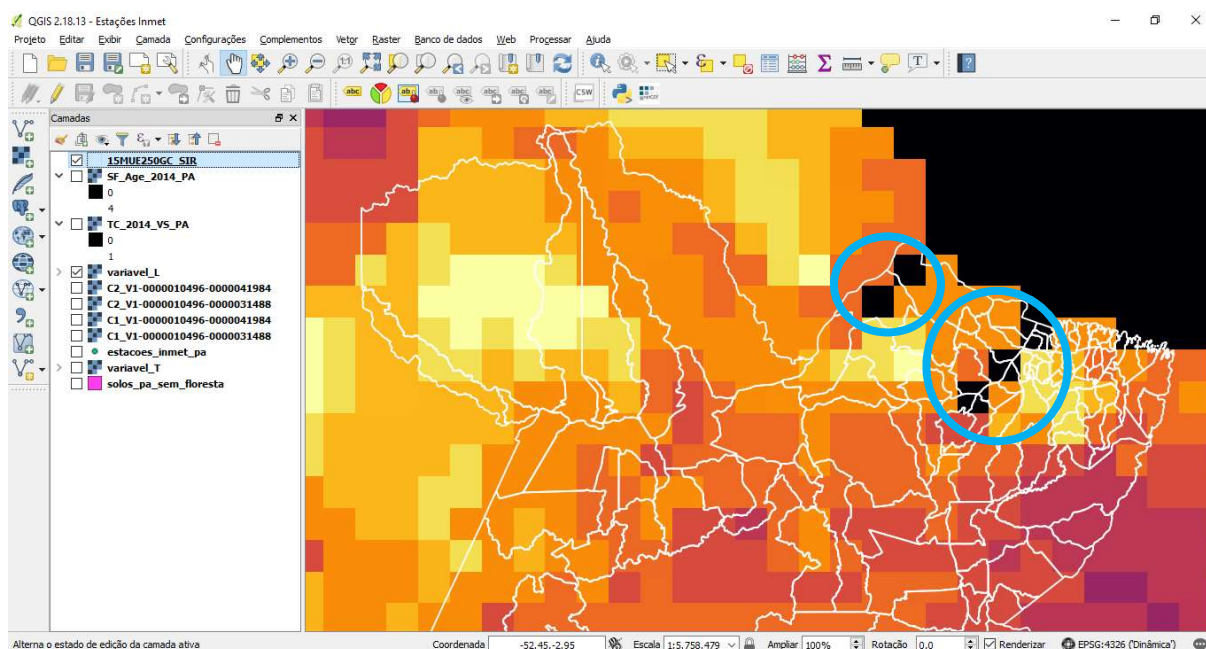
4.4 Limitações do Modelo

O modelo proposto neste trabalho possui algumas limitações que serão citadas a seguir. A variável A (idade da VS) mapeada através de imagens de satélite (Landsat) que eventualmente podem conter nuvens e em algum momento ter inviabilizado o mapeamento de uma área de VS; A acurácia do mapeamento, que segundo Almeida et al. (2016) foi de 76,4% para o mapeamento de 2008. Além disso, o mapeamento foi realizado, em média, a cada 2 anos, sendo assim as áreas de VS possuem seus valores expressos em forma de um intervalo de idade, não sendo possível definir a precisão desta estimativa. Nesse caso, optou-se por considerar sempre o menor valor do intervalo (variável A) para o cálculo do $GSDY$.

Outra observação importante é a diferença de escala entre os dados que contém as variáveis para o cálculo do $GSDY$: Os dados das variáveis T e L estão na escala de 1:275.000.000 enquanto os dados da variável A estão na escala 1:25.000 (Landsat).

A figura 3 exemplifica como a diferença de escala pode atrapalhar a metodologia do trabalho, em algumas regiões próximas a Ilha do Marajó. Neste caso, notou-se áreas sem valores para as variáveis T e L , nesses casos onde havia vegetação secundária e não havia valores para as variáveis T e L não foi possível calcular a biomassa acima do solo e o carbono contido nela.

Figura 3 - Exemplo de limitação do modelo pela diferença de escala entre os dados.



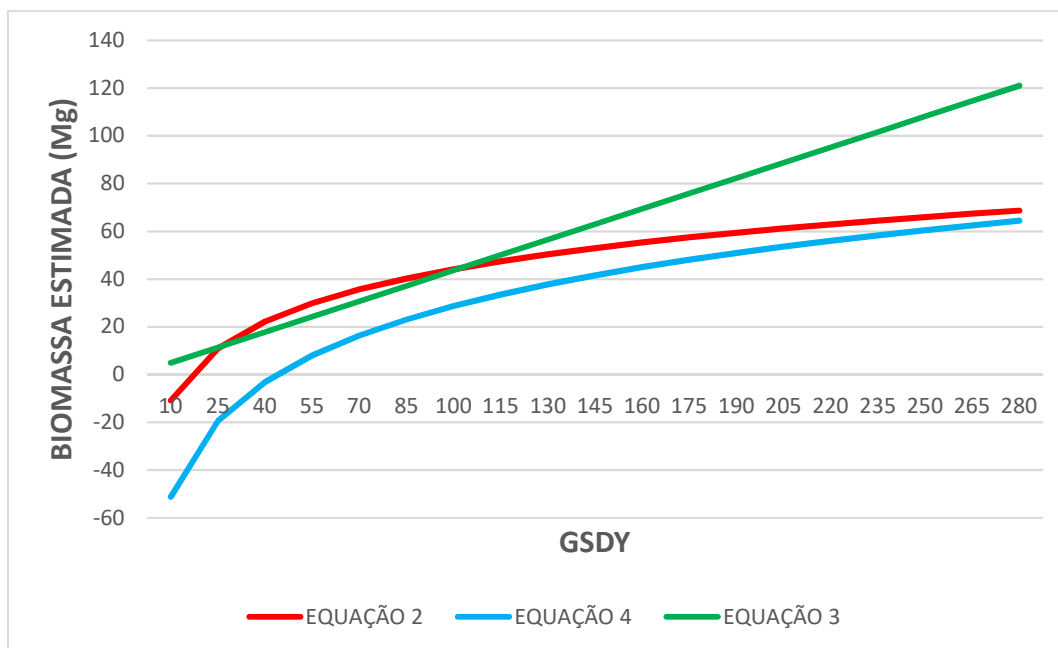
Fonte: O autor.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estimativas do modelo mostraram resultados distintos (Figura 4) que relaciona os valores de biomassa calculados com base nas equações 2, 3 e 4. A equação 4, mesmo corrigindo as anormalidades observadas por Zarin et al. (2001) em relação a equação 2, não se mostrou adequada para estimar a biomassa acima do solo na região amazônica, pois nas idades iniciais de crescimento da vegetação secundária os valores iniciais das estimativas de biomassa foram negativos. A equação 2 também apresentou o mesmo problema de resultar valores negativos de biomassa para a classe 1, VS em idade inicial, porém em menor magnitude (como pode ser observado na figura 4).

Na prática, com os resultados da equação 4 a vegetação secundária (idade de 1 a 2 anos) e parte da classe 2 (idade de 3 a 4 anos) teriam estimativas negativas de biomassa, somente a partir do valor de 43,7 aproximadamente de GSDY para passar a estimar valores positivos de biomassa (15,8 para a equação 2). Sendo assim, optou-se por utilizar a Equação 3 para estimar a biomassa acima do solo no Estado do Pará para os valores de GSDY menores que 43,8. Para valores maiores ou iguais a 43,8 utilizou-se a Equação 4 para o cálculo das estimativas de biomassa.

Figura 4- Relação entre GSDY e Biomassa estimada.

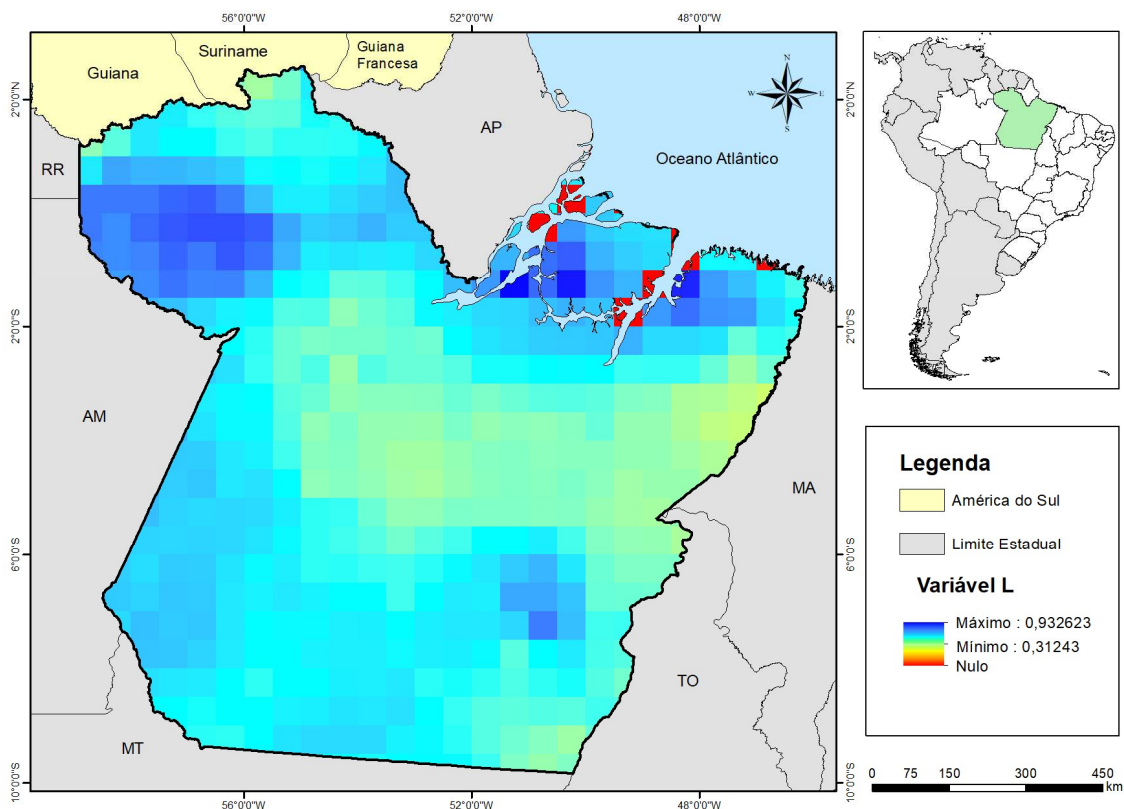


Fonte: O autor.

5.1 Temporada de Crescimento da Vegetação Secundária no Pará (1988-2014)

A partir dos valores de precipitação, foi calculada a duração da temporada de crescimento (L) da vegetação secundária ao longo da série histórica. A Figura 5 apresenta os valores médios para os 27 anos de dados de precipitação que foram utilizados para calcular a duração da temporada de crescimento da vegetação secundária no Pará.

Figura 5 - Temporada de crescimento média da VS no Pará ao longo da série histórica.



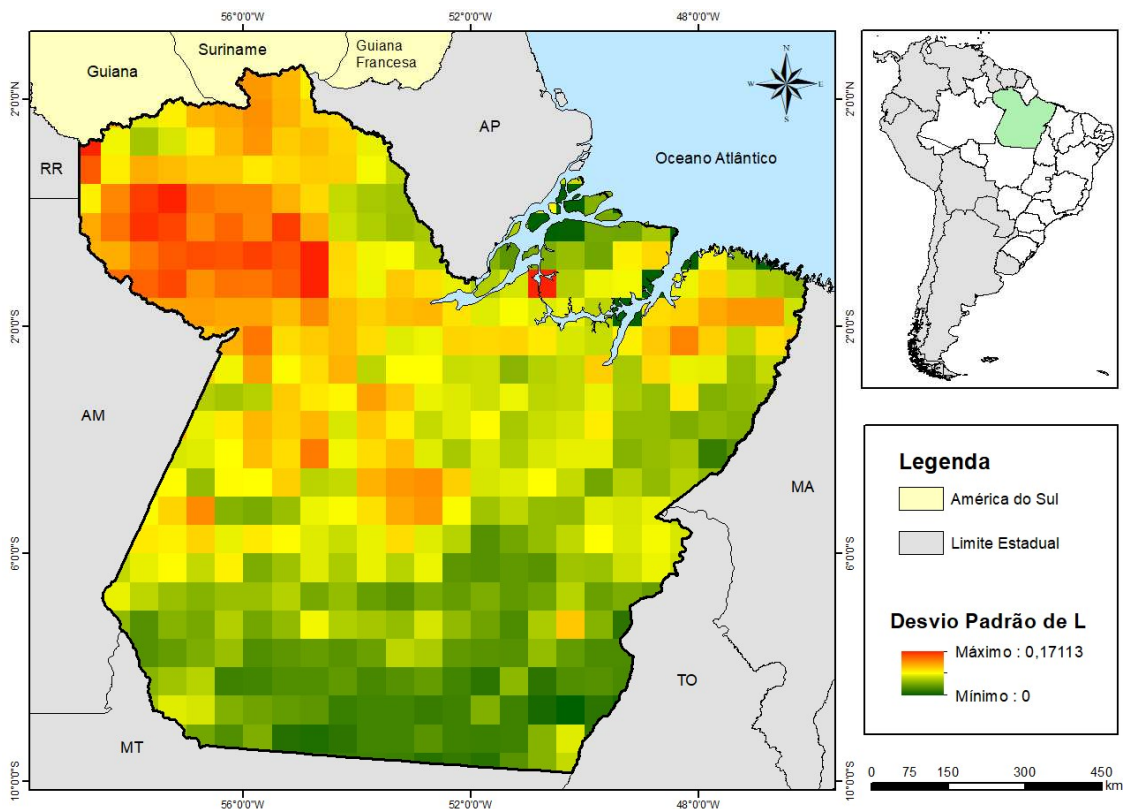
Fonte: O autor.

Como os valores de L variam entre 0 e 1, só foram observados valores nulos (vermelho) nas regiões onde não se obteve informações da precipitação no estado. Na prática, o valor nulo significaria um ano em que em nenhum mês houve chuva acumulada superior a 100 mm, o que é muito difícil de acontecer no Estado do Pará. Já os maiores valores foram observados na região da Calha Norte, região do Marajó e Nordeste paraense. Quando L é igual a 1 significa que em todos os meses do ano tivemos uma precipitação acumulada de mais de 100 mm, esse fato foi observado ao longo da série (WILLMOTT; MATSUURA, 2001).

Foram calculados os valores de desvio padrão da variável L ao longo da série histórica. O desvio padrão indica qual será a variação dos valores em relação à média (MORETTIN; BUSSAB, 2011). O resultado observado dos valores do desvio padrão

(DP) de L variaram de 0 a 0,17113, sendo que o zero ocorreu nos locais onde não foram obtidos dados da variável. A figura 6 representa a distribuição espacial dos valores de DP no Pará.

Figura 6 - Desvio Padrão de L ao longo da série histórica no Estado do Pará.



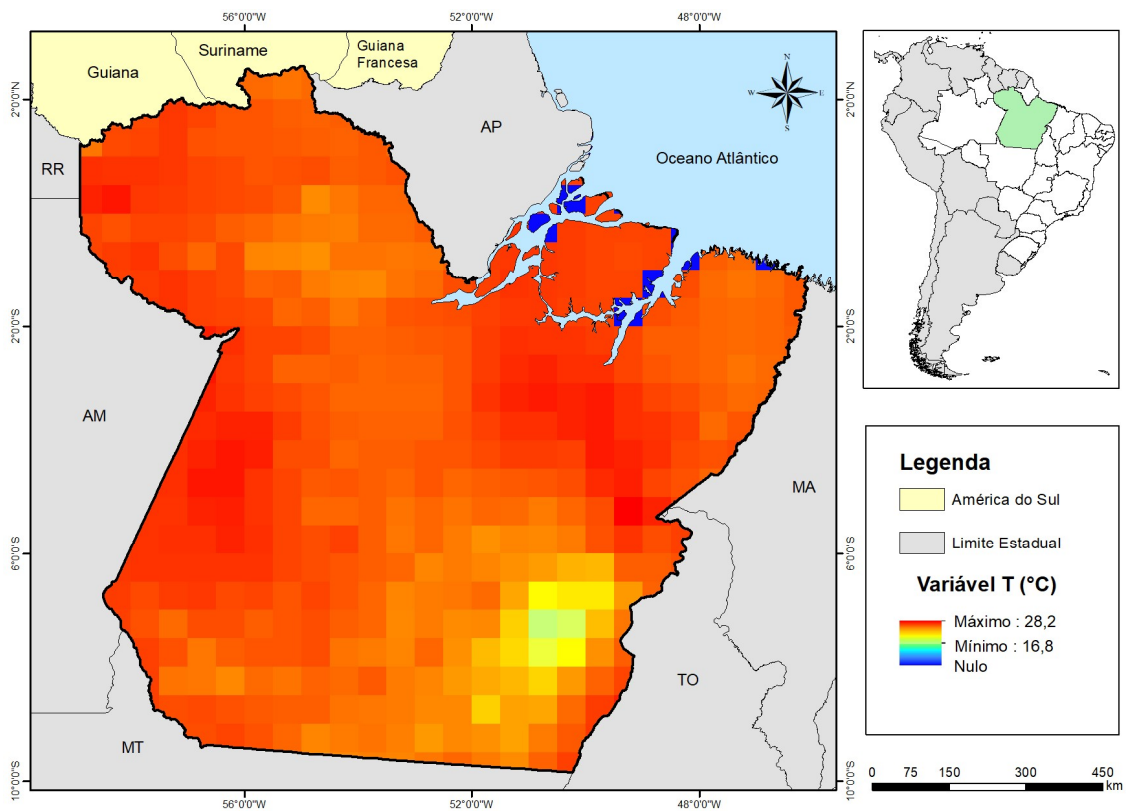
Fonte: O autor.

Mesmo sem apresentar grandes variações em relação à média, as áreas com os maiores valores de DP de L foram encontrados na região da Calha Norte, em parte da Ilha do Marajó, Nordeste Paraense e Baixo Amazonas, com comportamento distinto nas regiões sul, sudeste e parte da região leste do estado.

5.2 Temperatura Média no Pará (1988-2014)

A Figura 7 mostra a média da variável T (Temperatura Média) no estado do Pará ao longo da série histórica. De maneira geral, o estado em quase sua totalidade, apresenta uma média alta de temperatura (próxima dos 28°C), com exceção de uma parte da região Sudeste do estado que possui temperatura média de aproximadamente 17°C. Assim como a variável L , a variável T , pela limitação dos dados (ausência de informação pela resolução espacial do dado), possui o valor zero em algumas regiões ao norte do estado.

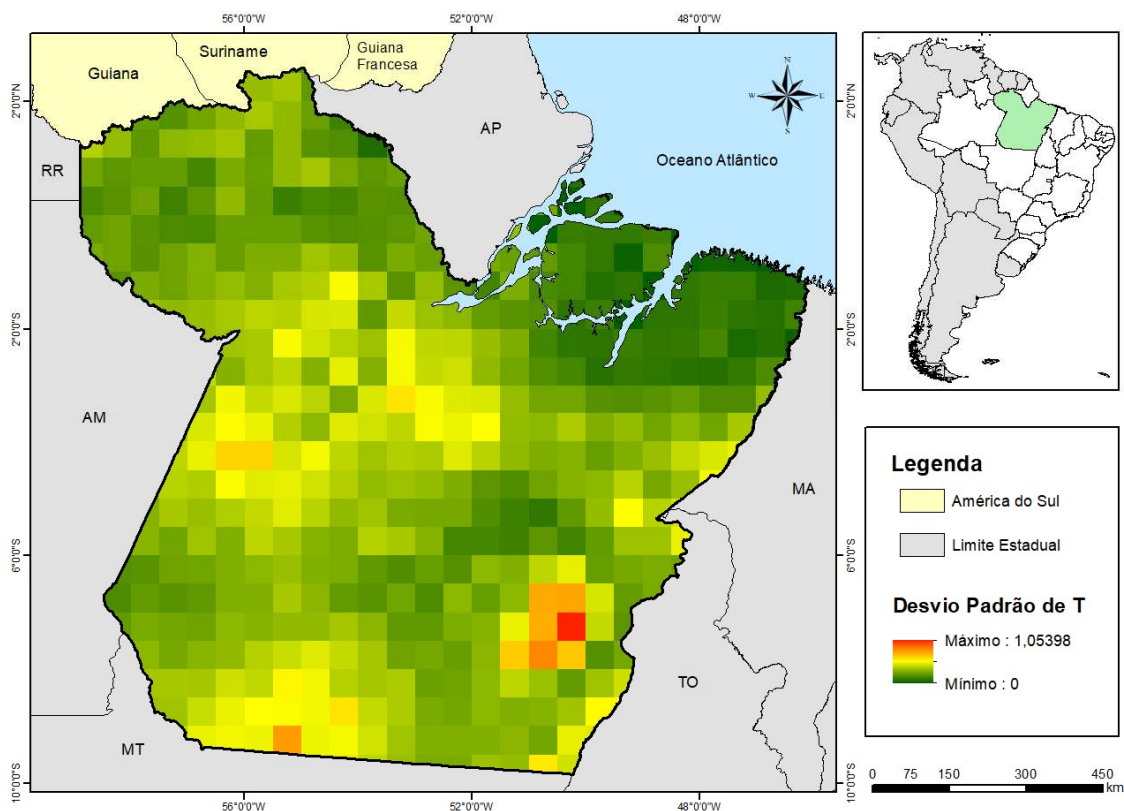
Figura 7 - Temperatura média no Estado do Pará ao longo da série histórica.



Fonte: O autor.

Os valores observados de temperatura no Pará tiveram o DP variando de zero a aproximadamente 1,05 (°C). Três regiões específicas apresentaram as maiores valores de DP em relação à média identificadas na Figura 8: parte do sudeste paraense (região próxima à Marabá), sul do Pará (região próxima à Novo Repartimento) e oeste do Pará (região próxima à Itaituba).

Figura 8 - Desvio Padrão de T (temperatura) no Estado do Pará ao longo da série histórica.



Fonte: O autor.

A Tabela 3 faz uma comparação entre os valores máximos e mínimos das variáveis L e T observados na série histórica (1988-2014) e os valores de mínimo e máximo médios das mesmas variáveis na série. O valor máximo de L na série foi 1, o que significa que naquele pixel para um determinado ano choveu mais de 100 mm o ano inteiro. Já o valor máximo médio da série foi 0,93, o valor mínimo de L foi próximo da média mínima da série (0,27 e 0,31 respectivamente). A temperatura máxima observada durante a série foi 31,9 °C e 28,2 °C para a média das temperaturas máximas, já os valores mínimos observados foram 15,2 °C (mínimo na série) e 16,8 °C (mínima média da série).

Tabela 3 - Valores máximos e mínimos observados nas variáveis L e T na série no Estado do Pará.

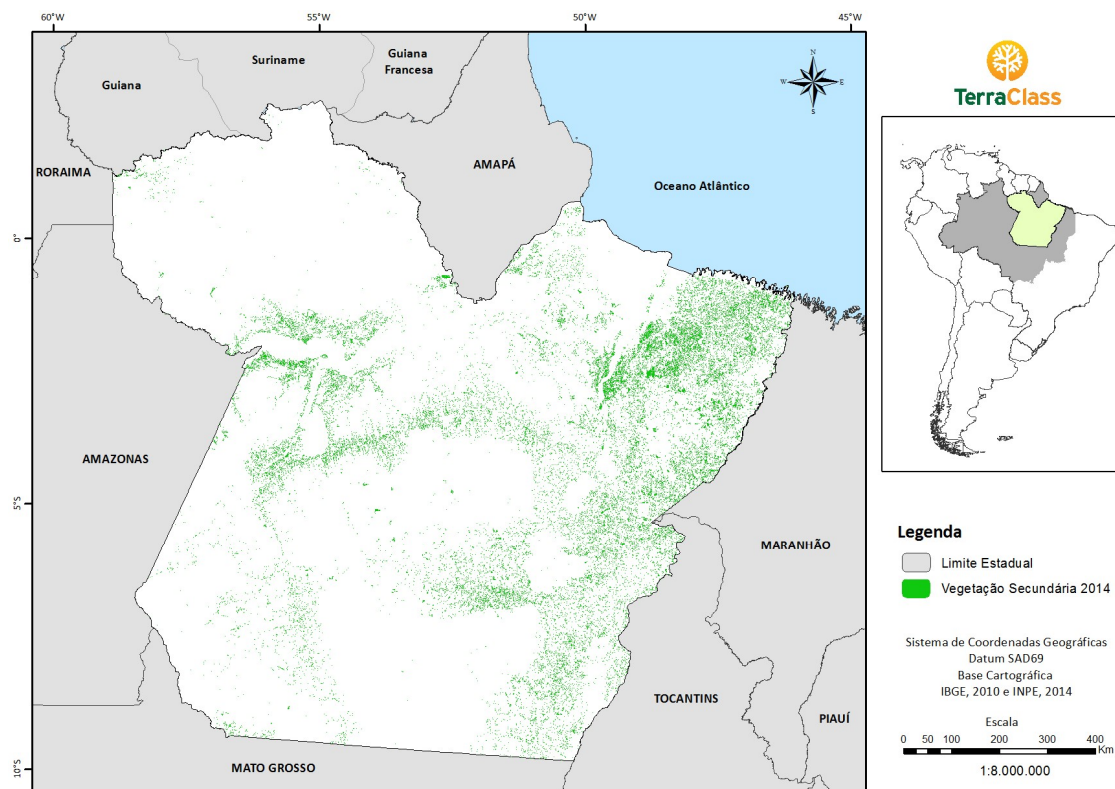
Variável	Série Histórica	Média
L Max	1	0,93
L Min	0,27	0,31
T Max	31,9	28,2
T Min	15,2	16,8

Fonte: O autor.

5.3 Ocorrência e Idade da Vegetação Secundária

Na Figura 9 podemos observar a distribuição da VS no Pará mapeada pelo projeto TerraClass para 2014. A região leste do Pará apresenta uma maior quantidade de vegetação secundária (VIEIRA et al., 2003) quando comparada com a região oeste, esse fato é facilmente justificado pela maior intensidade de ocupação na região leste do Estado, principalmente pela maior concentração populacional (IBGE, 2017), maior concentração de áreas desmatadas (INPE, 2017) e maior concentração de estradas (DNIT, 2018) nessa região. Dentro da região leste do Pará, destaca-se o nordeste paraense com grande concentração de vegetação secundária.

Figura 9 - Distribuição espacial da vegetação secundária no Pará em 2014.



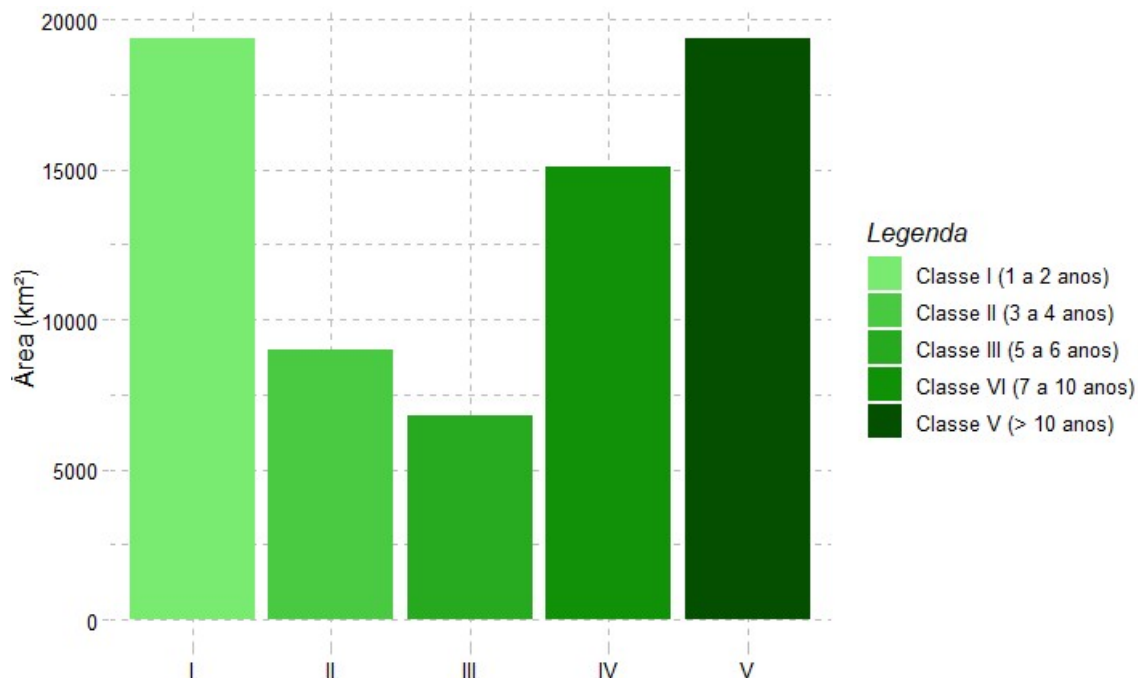
Fonte: O autor.

De acordo com o este autor, utilizando os dados do projeto TerraClass (versões em 2004, 2008, 2010, 2012 e 2014) a VS teve sua extensão calculada e foi classificada em cinco classes de idades que contemplaram os dez anos analisados neste estudo.

A Figura 10 quantifica a área de ocorrência da VS. Foram mapeados quase 70 mil km² de vegetação secundária (VS e regeneração com pasto) no Estado do Pará em 2014, com destaque para 3 classes que juntas representam 77% da VS total: a Classe I (VS entre

1 e 2 anos), Classe IV (VS entre 7 e 10 anos), e Classe V (VS com mais de 10 anos). O detalhamento desses valores podem ser observados na Tabela 4 e Figura 10:

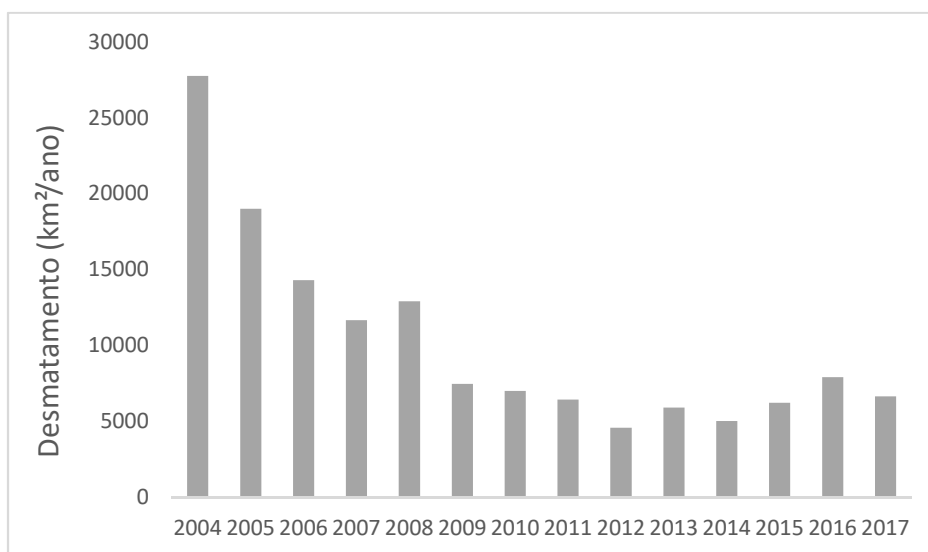
Figura 10 – Área de VS no Estado do Pará em 2014, de acordo com a classe de idade.



Fonte: O autor.

A VS resulta de um processo complexo que inicia com o desmatamento (MELLO; ALVES, 2011). Para entender melhor a ocorrência de cada classe é necessário entender o comportamento das taxas de desmatamento ano a ano, já que a ocorrência da VS está diretamente ligada ao surgimento de áreas desmatadas, neste caso mapeadas pelo PRODES, que são posteriormente abandonadas dando início ao processo sucessional.

Figura 11 - Taxa de desmatamento anual na Amazônia Legal (PRODES).



Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

A classe de VS com mais de 10 anos foi mapeada num período de altas taxas de desmatamento (2004), com mais de 27 mil km² de áreas desmatadas na região amazônica, por outro lado as áreas de VS de 3 à 6 anos (Classes II e III) foram mapeadas no período de 2010 e 2012 que representam um período de queda do desmatamento. Por outro lado, a VS inicial mapeada em 2014, mesmo representando um momento de queda no desmatamento, apresentou uma grande área ocupada por VS. Os dados de desmatamento acima citados podem ser observados na Figura 10.

Para fins de comparação Neeff et al. (2006) estimaram que entre 1978 e 2002 houve um aumento da área ocupada por VS na Amazônia Legal passando de 29.000 para 161.000 km², nesse mesmo período a idade média da VS aumentou de 4,4 para 4,8 anos (NEEFF et al., 2006).

5.4 Biomassa e Carbono (acima do solo) estimados

O modelo estimou a biomassa e o carbono, em Megagrama (Mg), acumulados até 2014 pela VS mapeada no projeto TerraClass no Estado do Pará em suas respectivas classes de intervalo de idade. A Tabela 4 mostra os valores de área da VS e estimativas de biomassa e carbono calculadas por este autor:

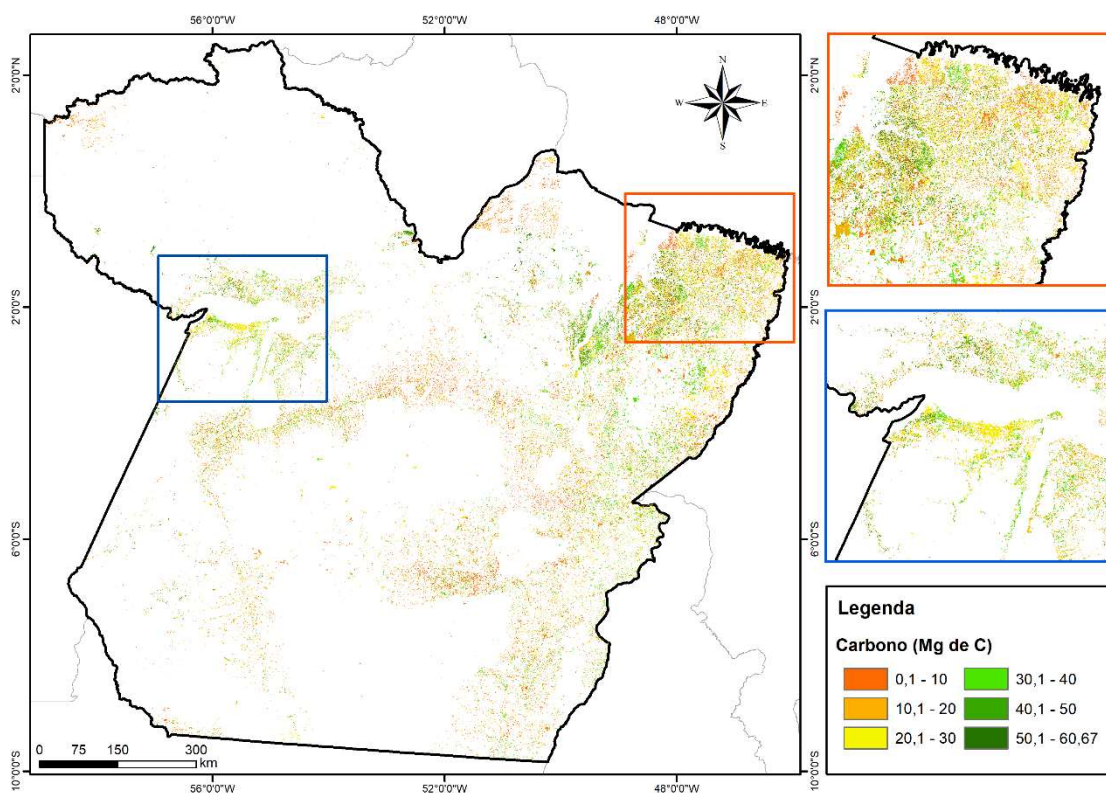
Tabela 4 - Valores de Biomassa e Carbono acima do solo estimados no Pará em 2014.

Classe VS	Idade da VS	Área (ha)	Biomassa Estimada (Mg)	Carbono Estimado (Mg)
I	1 a 2 anos	1938526,46	177464512,59	88732256,30
II	3 a 4 anos	900456,48	92435039,97	46217519,98
III	5 a 6 anos	679860,68	179131141,81	89565570,90
IV	7 a 10 anos	1507324,00	568412707,46	284206353,73
V	> 10 anos	1938324,45	1036987768,46	518493884,23
Total	-	6964492,07	2054431170,29	1027215585,14

Fonte: O autor.

Os dados de carbono quantificados na Tabela 4 estão distribuídos espacialmente na Figura 12, nela podemos observar as regiões que possuem mais ou menos carbono nas áreas de VS no território paraense. De maneira geral os tons mais alaranjados na figura mostram áreas com menores concentrações de C, os tons amarelos os locais de concentração intermediária e os tons mais verdes onde existem as maiores concentrações de C.

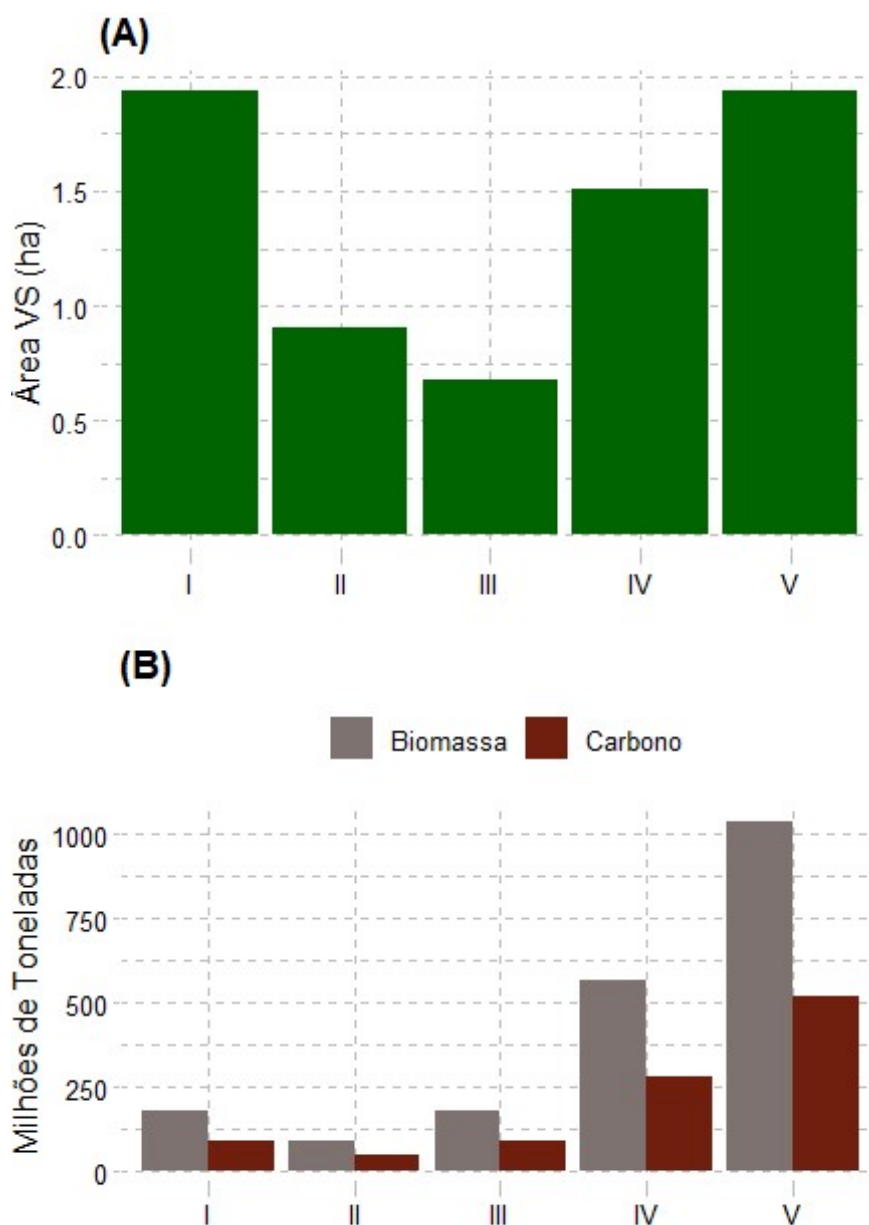
Figura 12: Carbono estimado na vegetação secundária no Estado do Pará até 2014.



Fonte: O autor.

Foram estimados aproximadamente 2 bilhões de toneladas (t) de biomassa acima do solo no território paraense (~ 1 bilhão de megagramas de carbono) como podemos observar na Tabela 4 e Figura 13. Essa quantidade equivale a 6,6% das emissões totais de CO₂ no período de 2004 a 2014 no Brasil segundo dados do SEEG.

Figura 13: (A) Área ocupada pela VS no Estado do Pará em 2014 por classe de idade; (B) Biomassa e Carbono Estimados nas áreas de VS no Pará em 2014.



Fonte: O autor.

Com base nas estimativas calculadas por este autor e no potencial de acúmulo de biomassa e carbono amplamente discutidos na literatura, é necessário levantar uma discussão sobre a vulnerabilidade das áreas de VS no Estado do Pará em relação a IN nº 08 já citada no texto. A IN nº 8 possibilita a limpeza das áreas de VS em estágio inicial de regeneração (até 5 anos) no Pará, desde que que essas áreas não estejam em APP e RL, deixando essas áreas que são fontes de absorção de carbono vulneráveis, podendo ser alvo

de limpeza a qualquer momento sem a necessidade de autorização do órgão competente. A Tabela 4 mostra a área de VS em 2014, observa-se que as classes I (1-2 anos) e II (3-4 anos), classes que possuem idade que se enquadram no procedimento de limpeza de VS em estágio inicial de regeneração, 1.938.526,46 e 900.456 hectares de vegetação secundária respectivamente (mapeada pelo projeto TerraClass). São mais de 2,8 milhões de hectares (Mha) de VS ou 135 milhões de toneladas de carbono vulneráveis, que poderiam ser suprimidos e/ou emitidos para a atmosfera. Por outro lado, a IN também pode colocar a VS (em estágio inicial) como uma alternativa para evitar a supressão de florestas primárias, já que essas áreas possuem estoque de carbono maior que áreas de VS, principalmente as áreas em estágio inicial. Por isso, a IN deve ser implementada de maneira estratégica, analisando cada caso, para proceder da maneira mais sustentável possível.

A Tabela 5 mostra a biomassa e o carbono estimados na vegetação secundária em suas cinco classes, por unidade de área (hectare) no Pará para o ano de 2014. Os valores acumulados mostram a tendência de aumento da biomassa conforme o passar do tempo para essas áreas em processo de sucessão.

Tabela 5: Valores (em Megagramas) de Biomassa por hectare nas diferentes classes de VS em 2014.

Classe VS	Biomassa/área (Mg/ha)	Carbono/área (Mg/ha)
I	91,5	45,8
II	102,7	51,3
III	263,5	131,7
IV	377,1	188,6
V	535,0	267,5

Fonte: O autor.

Foi calculado também a acumulação de biomassa e de carbono por ano e por hectare nas 5 classes da vegetação secundária. Para este cálculo foi utilizada a média de anos contida em cada classe, por exemplo, na classe 4 a vegetação secundária pode ter de 7 a 10 anos, então a idade média da vegetação nesse intervalo é igual a 8,5 anos. Essa métrica serviu para as demais classes, com exceção a classe 5 que não possui o intervalo de idade fechado, por isso este autor adotou o valor médio de 12,5 anos. O valor do acúmulo anual entre as classes em média foi de 45,09 Mg/ha (biomassa acima do solo) e 22,54 Mg/ha (Carbono). Os valores de acumulação média por ano e por unidade de área (ha) podem ser observados na Tabela 6:

Tabela 6: Acúmulo médio anual de biomassa e carbono por hectare nas diferentes classes de VS.

Classe VS	Acúmulo Médio/ano/ha ABA	Acúmulo Médio/ano/ha C
I	61,03	30,52
II	29,33	14,66
III	47,91	23,95
IV	44,36	22,18
V	42,80	21,40

Fonte: O autor.

Diversos autores também produziram estimativas de biomassa em suas obras e podem servir de parâmetro de comparação com os resultados aqui apresentados. Uhl et al. (1988) estimaram a biomassa em áreas de vegetação secundária localizadas próximas ao município de Paragominas – PA, em sua obra esses autores ressaltam a influência da intensidade do uso prévio da taxa de crescimento da vegetação secundária e conseqüentemente na sua biomassa. A variedade de espécies é outra variável que depende muito dessa intensidade do uso anterior, a variedade é maior quando a área foi utilizada de maneira leve e menor quando a o uso anterior foi bastante intensivo. Para Uhl et al. (1988) acúmulo médio de biomassa acima do solo em áreas de uso intensivo foi de 0,6 Mg/ha/ano, em pastos de 5 Mg/ha/ano, e 10 Mg/ha/ano em áreas de uso mais leve. Para este autor a acumulação média anual de biomassa (por hectare) variou de 29,3 a 61 Mg, como podemos observar na tabela 6. Vale ressaltar que o método proposto nesse estudo não analisa a intensidade do uso anterior das áreas de VS.

Nunes (2011) gerou estimativas de biomassa, para a região de Paragominas – PA, utilizando equações de cinco diferentes autores para áreas de vegetação secundária com variadas idades de abandono, este autor comparou as estimativas de áreas com idades semelhantes a algumas das classes deste estudo (4 anos – classe 2; 10 anos – classe 4; 15 anos – classe 5). No geral as estimativas deste autor ficaram acima das calculadas por Nunes (2011).

Wandelli e Fearnside (2014) estimaram a biomassa da vegetação secundária para pequenas propriedades em um município próximo de Manaus e obtiveram estimativas de 3 a 9 Mg/ha de ABA para áreas com um ano de regeneração e de 11 a 20 Mg de biomassa para áreas com 2 anos de regeneração. Para áreas com tempo de abandono equivalente as da classe 2 (3 a 4 anos) de 28 a 30 Mg/ha de biomassa, para áreas similares as da classe 3 (5 a 6 anos) de 40 a 50 Mg/ha de biomassa, para áreas com 7 a 10 anos de abandono de 30 a 80 Mg/ha de biomassa, para áreas com mais de 10 anos de abando de 50 a 80 Mg/ha

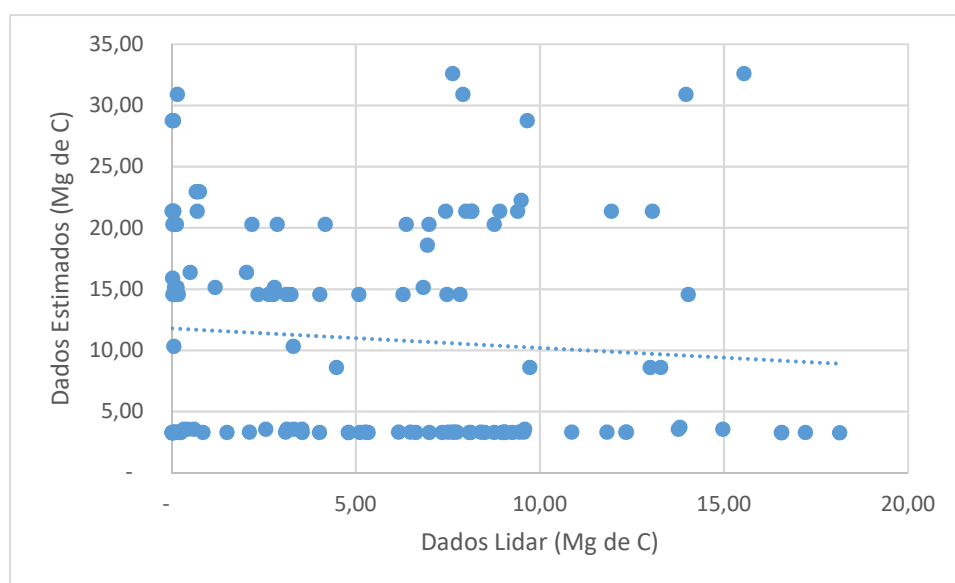
de biomassa. Essas variações ocorreram pelo fato de existirem diferentes usos do solo anteriores ao surgimento da vegetação secundária (pasto ou agricultura). De maneira geral as estimativas deste autor sempre acima das estimativas de Wandelli e Fearnside (2014) como pode ser observado na Tabela 6.

Poorter et al. (2016) analisaram a recuperação da biomassa acima do solo na vegetação secundária, concluindo que a vegetação secundária é resiliente e altamente produtiva, suas estimativas apontaram um acúmulo médio anual de 6,1 Mg/ha de biomassa aérea (3,05 Mg/ha de carbono), taxa 11 vezes maior que a observada nas florestas mais antigas. As estimativas de Poorter et al. (2016) encontram-se abaixo das estimativas desse autor (ver Tabela 6).

5.5 Validação das Estimativas

Os valores calculados de carbono para a vegetação secundária (acima do solo) no Estado do Pará foram comparados com dados LiDAR no formato *raster* (LONGO et al., 2016) que contém informações de carbono da região de Paragominas, produzidos pelo Projeto Paisagens Sustentáveis. Os dados LiDAR são do ano de 2013 e foram comparados com os dados calculados de carbono para o ano de 2014. A comparação foi feita nas áreas coincidentes. A Figura 14 mostra o comportamento dos valores calculados neste tudo e os valores observados nos dados LiDAR.

Figura 14: Gráfico de dispersão dos valores estimados e observados (LiDAR) de Carbono



Fonte: O autor.

Podemos notar que os valores de carbono calculados pela metodologia proposta por este estudo e o observado nos dados LiDAR não apresentam tendências parecidas. De maneira geral, as estimativas de carbono ficaram próximas as de alguns autores anteriormente citados, mas quando comparados com dados mais refinados como os dados LiDAR não apresentaram resultados satisfatórios. A comparação dos valores mostrou grande discrepância, sendo que um dos fatores que podem explicar esse comportamento é a diferença de escala entre os dados, já que o LiDAR tem um pixel de 50 x 50 metros, enquanto algumas informações do modelo têm um pixel de 55 km. Além disto, estes dados consideram a quantidade de biomassa presente no momento do sobrevoo, levam em conta todos os efeitos ocasionados pelo uso anterior, ocorrência ou não de queimadas, dentre outros. Por outro lado, os dados gerados por este estudo possuem informações em formato *raster* que variam do mapeamento, com resolução de 30m e dos dados de temperatura e clima um pixel de 0,5° x 0,5° (aproximadamente 55 x 55 km). Cabe ainda ressaltar a incerteza existente na idade da VS, já que o dado TerraClass possibilitou inferir apenas um intervalo provável da idade. Outro aspecto relevante nessa comparação são as influências do uso anterior e da cobertura do solo, (POORTER et al., 2016) e da intensidade desse uso (UHL; BUSCHBACHER; SERRAO, 1988) bem como dos efeitos de queimadas e outras práticas nas áreas de vegetação secundária sobre as taxas de crescimento dessa vegetação, já que estes fatores não foram computados neste modelo.

6 CONCLUSÕES

A vegetação secundária é um elemento muito importante da paisagem amazônica, sendo capaz de estocar uma grande quantidade de carbono, evitando que o mesmo seja lançado para a atmosfera. A dinâmica da vegetação secundária é um processo complexo, pois diversos fatores podem influenciar no crescimento e desenvolvimento dessa vegetação, tornando ainda mais importante estudos que venham elucidar a importância de fatores como temperatura, precipitação, tipo de solo, uso anterior do solo, disponibilidade de nutrientes no solo, etc.

Vale ressaltar também que estimar a biomassa e o carbono na vegetação secundária através de um modelo não é tarefa simples, já que vários aspectos podem influenciar no crescimento. Diversos autores encontraram diferença nas estimativas de biomassa para áreas com a mesma idade de abandono, isso se justifica pelo diferente uso (e intensidade do uso) anterior ao aparecimento da vegetação secundária. Apesar da dificuldade em gerar estimativas de biomassa precisas, o modelo proposto atingiu seu objetivo estimando a biomassa e o carbono na vegetação secundária no Estado do Pará, com valores condizentes com a literatura sobre o tema.

A Instrução Normativa nº 08 de 28 de Outubro de 2015 liga um sinal de alerta em relação ao crescimento e desenvolvimento da vegetação secundária no território paraense, pois as áreas de VS em estágio inicial (fora de APP e RL) podem ser removidas de acordo com o interesse dos donos das propriedades rurais. É necessário rever a maneira como as recomendações da IN estão sendo implementadas na gestão ambiental no território paraense, averiguando se a IN cumpre o papel de controle do desmatamento das áreas secundárias e proteção da vegetação primária. A vegetação secundária precisa ser alvo de debates frequentes pois atualmente encontram-se desprotegidas e correm um risco eminente de serem “limpas”, nesse caso, iremos sofrer com o lançamento de uma quantidade considerável de carbono na atmosfera, agravamento das mudanças climáticas, perda de biodiversidade, compactação e erosão do solo, assoreamento dos corpos hídricos e etc.

O ajuste metodológico aplicado nesse estudo (utilização duas equações conforme os valores de GSDY) conseguiu retratar o padrão de acúmulo de carbono na VS encontrado na literatura, onde observa-se uma alta velocidade no crescimento do estoque de carbono nos primeiros anos de sucessão, e posteriormente uma tendência de diminuição dessa velocidade e estabilização do estoque em si. Por outro lado, os novos

valores estimados de biomassa e carbono obtidos após o ajuste metodológico mostraram-se acima dos valores retratados por outros autores.

Durante o processo de validação das estimativas, não foi observado uma relação (ou uma correlação) entre os valores de carbono estimados neste trabalho e os valores estimados com o auxílio dos dados de LiDAR.

Para os próximos passos seria interessante inserir na metodologia aqui apresentada uma variável que representasse o efeito do uso (e da intensidade) anterior do solo no acúmulo da biomassa e carbono acima do solo nas áreas de vegetação secundária.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C. A. *et al.* Estimativa de área de vegetação secundária na Amazônia Legal Brasileira. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 2, p. 289–302, 2010.
- ALMEIDA, C. A. de *et al.* High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. **Acta Amazonica**, v. 46, n. 3, p. 291–302, 2016.
- ALVES, D. S. O processo de desmatamento na Amazônia. **Parcerias Estratégicas**, v. 12, p. 259–275, 2001.
- BERENGUER, E. **Estimating carbon and vegetation change along a gradient of forest degradation across Eastern Amazon**. Lancaster: Lancaster University, nov. 2013.
- BERENGUER, E. *et al.* A large-scale field assessment of carbon stocks in human-modified tropical forests. **Global Change Biology**, v. 20, n. 12, p. 3713-3726, 2014.
- BROWN, S. L.; SCHROEDER, P.; KERN, J. S. Spatial distribution of biomass in forests of the eastern USA. **Forest Ecology and Management**, v. 123, n. 1, p. 81-90, 1999..
- BROWN, S.; LUGO, A. E. Tropical secondary forests. **Journal of Tropical Ecology**, v. 6, n. 1, p. 1–32, 1990.
- BROWN, S.; LUGO, A. E. Aboveground biomass estimates for tropical moist forest of the brazilian amazon. **Interciência**, v. 17, 1992.
- CARVALHO, G. *et al.* An Amazon perspective on the forest-climate connection: opportunity for climate mitigation, conservation and development? **Environment, Development and Sustainability**, v. 6, n. 1, p. 163-174, 2004.
- CHAMBERS, J. Q. *et al.* Tree damage, allometric relationships, and above-ground net primary production in central Amazon forest. **Forest Ecology and Management**, v. 152, p. 73–84, 2001.
- CORDEIRO, I. *et al.* **Nordeste paraense panorama geral e uso sustentável das florestas secundárias**. Belém: EDUFRA, 2017.
- DIXON, R. K. *et al.* Carbon pools and flux of global Forest Ecosystems **Science**, v. 263, n. 5144, p. 185-190, 1994.
- FEARNSIDE, P. M. Amazonian deforestation and global warming: carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest management. **Forest Ecology and Management**. v. 80, n. 1-3, p. 21-34, 1996.
- FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia brasileira: história , índices e consequências. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 113–123, 2005.
- FISCH, Gilberto; MARENGO, José; NOBRE, Carlos. Uma revisão geral sobre o clima da amazônia. **Acta Amazonica**, v. 28, n.2, p. 101–126, 1998.

GOVERNO DO ESTADO DO PARÁ. **Instrução normativa nº08, de 28** de outubro de 2015. Diário Oficial do Estado do Pará, 2015.

HIGUCHI, N. *et al.* Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira. **Acta Amazônica**, v. 2, p. 153–166, 1998.

HIROTA, M. *et al.* Global resilience of tropical forest and savanna to critical transitions. **Science**, New York, N.Y., v. 334, n. 6053, p. 232–5, 2011.

HOUGHTON, R. A. *et al.* Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Amazon. **Nature**, v. 403, 2000.

LACERDA, J. S. de. *et al.* Estimativa da biomassa e carbono em áreas restauradas com plantio de essências nativas. **METRVIM**, v. no, n. on line - 5, 2009. Disponível em: <http://cmq.esalq.usp.br/wiki/lib/exe/fetch.php?media=publico:metrvim:metrvim-2009-n05.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2018.

MELLO, A. Y. I.; ALVES, D. S. Secondary vegetation dynamics in the Brazilian Amazon based on thematic mapper imagery. **Remote Sensing Letters**, v. 2, n. 3, p. 189–194, 2011.

METZGER, J. P. Effects of deforestation pattern and private nature reserves on the forest conservation in settlement areas of the Brazilian Amazon. **Biota Neotropica**, v. 1, n. 1/2, p. 1–14, 2001.

MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. de O. **Estatística básica**. [S.l.] : Saraiva, 2011.

NEEFF, T. *et al.* Area and age of secondary forests in Brazilian Amazonia 1978-2002: An empirical estimate. **Ecosystems**, v. 9, n. 4, p. 609–623, jun. 2006.

NELSON, B. W. *et al.* Allometric regressions for improved estimate of secondary forest biomass in the central Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 117, n. 1–3, p. 149–167, 1999.

NÓBREGA, R. S. Impactos do desmatamento e de mudanças climáticas nos recursos hídricos na amazônia ocidental utilizando o modelo slurp. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, p. 111–120, 2014.

NUNES, S. **Estimativas de biomassa e carbono e indicadores para restauração de florestas secundárias em Paragominas-Pará**. 2011. 126f. Dissertação (Mestrado) - Programa Recursos Florestais, Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

OVERMAN, J. P. M. *et al.* Evaluation of regression models for above-ground biomass determination in Amazon rainforest. **Journal of Tropical Ecology**, v. 10, n. 2, p. 207–218, 1994.

PAN, Y. *et al.* A large and persistent carbon sink in the world's forests. **Science**, v. 333, n. 6045, p. 988–993, 19 ago. 2011.

PEREIRA, C.A.; VIEIRA, I. C. G. A importância das florestas secundárias e os impactos de sua substituição por plantios mecanizados de grãos na Amazônia. **Interciência**, Caracas, v.26, n.8, p. 337-341, ago.2001.

POORTER, L. *et al.* Biomass resilience of Neotropical secondary forests. **Nature**, v. 530, n. 7589, p. 211–214, 2016.

POPPE, M. K. **Manual de capacitação mudanças do clima e projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo**. [S.l.]: Centro de Gestão e Estudos Estatísticos, 2008.

PUIG, C. J. **Carbon sequestration potential of land-cover types in the agricultural landscape of eastern Amazonia, Brazil**. [S.l: s.n.] 2005. Disponível em: <https://cuvillier.de/de/shop/publications/2418>. Acesso em: 15 fev. 2018..

SAATCHI, S. *et al.* Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 108, p. 24, 2011.

SCHWARTZ, G.; FERREIRA, M. do S.; LOPES, J. do C. Silvicultural intensification and agroforestry systems in secondary tropical forests: a review. **Revista de Ciências Agrárias - Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 58, n. 3, p. 319–326, 2015.

SHUKLA, J.; NOBRE, C.; SELLERS, P. Amazon deforestation and climate change. **Science**, New York, N.Y., v. 247, p. 1322–1325, 1990.

SILVEIRA, P. *et al.* O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, v.31, n.1, p. 186-206, jan./mar, 2008.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (SEEG). **Observatório do clima**. SEEG 2017 PRESSKIT.

STOCKER, T. F. **Climate change 2013**: the physical science basis: summary for policymakers, a report of Working Group I of the IPCC, technical summary, a report accepted by Working Group I of the IPCC but not approved in detail and frequently asked questions: part of the Working Group I contribution to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013.

UHL, C.; BUSCHBACHER, R.; SERRAO, E. A. S. Abandoned Pastures in Eastern Amazonia. I. Patterns of Plant Succession. **Source: Journal of Ecology**, v. 76, n. 3, p. 663–681, 1988.

VAN DER WERF, G. R. *et al.* CO₂ emissions from forest loss. **Nature Geoscience**, v. 2, n. 11, p. 737-738, 2009.

VIEIRA, G. *et al.* Classifying successional forests using Landsat spectral properties and ecological characteristics in Eastern Amazon. **Remote Sensing of Environment**, v. 87, p. 470–481, 2003.

VIEIRA, I. C. G. *et al.* Challenges of governing second-growth forests: a case study from the Brazilian Amazonian state of Pará. **Forests**, v. 5, n. 7, p. 1737–1752, 2014.

VIEIRA, I. C. G.; GARDNER, T. A. Florestas secundárias tropicais: ecologia e importância em paisagens antrópicas. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi**. Cienc. Nat., v. 7, n. 3, p. 191-194, 2012.

WANDELLI, E. V.; FEARNSTIDE, P. M. Equações alométricas para vegetações secundárias de diferentes históricos de uso da terra na Amazônia Central. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE INVENTÁRIO FLORESTAL, 3., 2014, Manaus. **Anais[...]**. Brasília, DF: Serviço Florestal Brasileiro, 2014. p. 24.

WERTH, D.; AVISSAR, Roni. The local and global effects of Amazon deforestation. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, n. 3, p. LBA 55-1-LBA 55-8, 2002.

WIEMANN, M.; WILLIAMSON, G. Extreme radial changes in wood specific gravity in some tropical pioneers. **Wood and Fiber Science**, v. 20, n. 3, p. 344-349, 1988.

WILLMOTT, C. J.; MATSUURA, K. **Terrestrial air temperature and precipitation: monthly and annual time series (1900 - 2014)**. Disponível em: http://climate.geog.udel.edu/~climate/html_pages/README.gchn_ts2.html. Acesso em: 10 abr. 2022.